



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

***“IMPACTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LAS ACTIVIDADES
ANTROPICAS SOBRE LA FORMACIÓN DEL SUELO EN UNA
MICROCUENCA DE PÁRAMO EN LA CUENCA ALTA DEL RIO
YANUNCAY-QUEBRADA CUEVAS”***

Tesis previa a la obtención del título de:

Ingeniero Agrónomo

Autores:

Asanza Cajamarca Juan Carlos

Barahona Méndez Juan Andrés

Director:

Ph.D. M. Sc. Armando Molina Verdugo

Cuenca - Ecuador

2015



RESUMEN

Esta tesis tiene por objetivo estudiar el efecto de la cobertura vegetal y las actividades antrópicas sobre la formación del suelo en una Microcuenca de páramo en la Cuenca alta del río Yanuncay – quebrada Cuevas. Los Andosoles no alofánicos son los suelos que predominan en el área de estudio donde el sobrepastoreo y las quemas son las prácticas agrícolas más comunes.

Tres tipos de vegetación se identificaron, el páramo de pajonal (Pj), páramo de almohadillas (Pha) y el bosque de *Polylepis* (Bp). Se realizaron 6 catenas desuelo y se estudiaron 18 perfiles de suelo para los diferentes tipos de vegetación. Los Resultados de los análisis estadísticos muestran que la disponibilidad de los cationes y Si es baja mientras que la disponibilidad del Al y Fe es alta y estos elementos están bien correlacionados con la cantidad de carbón orgánico. Los horizontes superficiales presentan valores de pH menores a 5, la D.A es menor a 0.9 gr/cm³, y los valores de la proporción de Alp/Alo se encuentran entre 0.5 y 1. Estos resultados indican que los suelos del páramo del sur del Ecuador son Andosoles no alofánicos y predominan los complejos aluminos-orgánicos mientras que la formación de alófanos es muy débil o simplemente no existe, por lo tanto son suelos bien desarrollados.

Nuestros análisis muestran que existen dos patrones entre los grupos de vegetación, aparentemente el páramo de pajonal y el bosque de *Polylepis* tiene el mismo comportamiento ya que no tienen diferencias significativas. En cambio los resultados para el páramo herbáceo con almohadillas muestran un comportamiento distinto que difiere de los otros dos grupos. El uso del suelo juega un papel indirecto pero importante en el desarrollo del suelo

PALABRAS CLAVE: PÁRAMO, ACTIVIDADES ANTRÓPICAS, CATENAS DE SUELO, ANDOSOL NO ALOFÁNICO, ANDOSOL ALOFÁNICO, PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO, PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.



ABSTRACT

This thesis aims to study the effect of vegetation cover and anthropogenic activities on soil formation in a páramo micro-catchment in the upper part of the Yanuncay basin (Cuevas stream). Non-allophonic Andosols are the main soils in the study area where the overgrazing and burnings are the common agricultural practices.

Three types of vegetation were identified, grass páramo (Pj), cushion páramo (PHA), and Polylepis (BP) forest. 6 soil catenas were made and 18 soil profiles were studied for the distinct types of vegetation. Results of the statistical analyses show that the availability of cations and Si is low, whereas the availability of Al and Fe is high and these elements are strongly correlated to organic carbon. The upper horizons present values of pH lower to 5, bulk density is lower to 0.9gr/cm³, and the values of the ratio of Alp/Alo are between 0.5 and 1. These findings indicate that the páramo soils of the southern Ecuador are non-allophonic Andosols and the aluminic-organic complexes prevail, while the formation of allophones is limited, therefore these soils are well developed.

Our analysis show that there are two patterns between vegetation groups, apparently the grass páramo and Polylepis forest have the same behavior, as they do not show significative differences. On the other hand, the results for the cushion páramo show a distinct behavior in comparison to the other two groups. Land use plays an indirect role but important in soil development, particularly the Pj and Pha are subjected to overgrazing of animals and burnings, these agricultural practices contribute further to disturb the biogeochemical cycle of páramo ecosystems.

KEY WORDS: PÁRAMO, ANTHROPOGENIC ACTIVITIES, SOIL CATENAS, NON- ALLOPHONIC ANDOSOL, ALLOPHONIC ANDOSOL, SOIL PHYSICAL PROPERTIES, SOIL CHEMICALS PROPERTIES.



INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	2
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. OBJETIVOS	5
4.1. OBJETIVO GENERAL	5
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
5. HIPÓTESIS	5
6. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
6.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PÁRAMOS	6
6.2. IMPORTANCIA DEL PÁRAMO.....	7
6.2.1. <i>Uso urbano</i>	7
6.2.2. <i>Usos agrícolas</i>	7
6.2.3. <i>Energía hidroeléctrica</i>	7
6.3. CLIMA	8
6.4. SUELOS DEL PÁRAMO	9
6.4.1. <i>Factores de formación del suelo</i>	11
6.5. DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS DE PÁRAMO.....	16
6.5.1. <i>Andosoles</i>	16
6.6. RETENCIÓN DE AGUA.....	20
6.7. DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN LOS PÁRAMOS	21
6.7.1. <i>Degradación antrópica</i>	21
6.7.2. <i>Quemas</i>	21
6.7.3. <i>El sobrepastoreo</i>	23
6.7.4. <i>La agricultura</i>	25
6.7.5. <i>La forestación con pino</i>	26



6.7.6.	<i>La forestación con bosque nativo</i>	27
6.8.	BIODIVERSIDAD DE LOS PÁRAMOS	29
6.8.1.	<i>Flora</i>	29
6.8.2.	<i>Fauna</i>	32
7.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
7.1.	ÁREA DE ESTUDIO	34
7.2.	<i>Descripción del área de estudio</i>	35
7.2.1.	<i>Formación y desarrollo del suelo en depósitos de ceniza volcánica en los páramos de Can-can – Sigsihuayco</i>	35
7.2.2.	LA GEOLOGÍA EN LA ZONA DE ESTUDIO (CANCÁN – SIGSIHUAYCO)	36
7.2.3.	<i>Clima de la zona de estudio (Cancán – Sigsihuayco)</i>	37
7.2.4.	<i>Tipos de suelo en la zona (Cancán– Sigsihuayco)</i>	38
7.2.5.	<i>Vegetación en la zona de estudio (Cancán – Sigsihuayco)</i>	38
7.3.	METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE DATOS Y DISEÑO DE MUESTREO	39
7.3.1.	IDENTIFICACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO DENTRO DE LA MICROCUENCA RIO SIGSIHUAYCO-QUEBRADA CUEVA	39
7.4.	TIPOS DE COBERTURA VEGETAL.	41
7.5.	ACTIVIDADES ANTRÓPICAS	42
7.6.	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES DEL SUELO (CALICATAS)	43
	<i>Materiales</i>	43
7.6.1.	UBICACIÓN DE LAS CALICATAS	43
7.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS PARA IDENTIFICACIÓN DEL EFECTO EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE SUELOS DE CENIZA VOLCÁNICA	45
7.8.1.	<i>Densidad aparente</i>	46
8.	RESULTADOS Y DISCUSION	50
8.1.	ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE (PEARSON) PARA LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	51
8.2.	ANÁLISIS DE CORRELACIÓN PARA LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	51
8.3.	BOX PLOT DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZA VOLCÁNICA... ..	53
8.4.	ANÁLISIS DE VARIANCIA (ANOVA)	58
8.5.	CUANTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZA VOLCÁNICA	59



8.5.1.	PARÁMETROS FÍSICOS DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZA VOLCÁNICA.....	59
8.5.2.	PARÁMETROS QUÍMICAS DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZA VOLCÁNICA	64
8.6.	DETERMINACIÓN DEL GRADO DE ALTERACIÓN DE LOS SUELOS VOLCÁNICOS (ANDOSOL) BASADOS EN MEDICIONES DE MINERALES POCO CRISTALIZADOS (ALÓFANA E IMOGOLITA) Y COMPLEJOS ALUMINO – ORGÁNICOS .	68
8.7.	EFFECTO DEL TIPO DE COBERTURA VEGETAL EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS DE CENIZA VOLCÁNICA	71
8.7.1.	TIPOS DE COBERTURA VEGETAL.....	71
8.8.	<i>Efectos que produciría el reciclaje de nutrientes al suelo en la meteorización química.</i>	78
9.	CONCLUSIONES	81
10.	RECOMENDACIONES.....	83
11.	BIBLIOGRAFÍA	84
12.	ANEXOS	91
12.1.	UBICACIÓN, REALIZACIÓN (CALICATAS) Y DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES	91
	<i>Materiales</i>	<i>91</i>
12.2.	COORDENADAS UTM DE LAS DIFERENTES CALICATAS DE ESTUDIO	94
12.3.	PROCESAMIENTO DE LOS FORMULARIOS DE CALICATAS PROMAS	95
12.4.	DETERMINACIÓN DE LOS TIPOS DE COBERTURA	133
12.5.	DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	133
12.6.	EQUIPOS Y PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS FÍSICO DEL SUELO.....	136
12.7.	ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO (UNIVERSIDAD DE GOTTINGEN).	138



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RIO SIGSIHUAYCO-QUEBRADA CUEVAS	35
FIGURA 2. TIPOS DE VEGETACIÓN	41
FIGURA 3. MAPA DE UBICACIÓN DE LAS 18 CALICATAS (6 CATENAS) EN LA ZONA DE ESTUDIO (MICROCUENCA DEL RIO SIGSIHUAYCO-QUEBRADA CUEVAS).....	45
FIGURA 4. OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE (D.A).....	47
FIGURA 5. BOXPLOT PH H ₂ O	54
FIGURA 6. BOXPLOT NA (CMOL/KG)	55
FIGURA 7. BOXPLOT CA (CMOL/KG).....	55
FIGURA 8. BOXPLOT MG (CMOL/KG)	56
FIGURA 9. BOXPLOT AL (CMOL/KG).....	56
FIGURA 10. BOXPLOT FE (G/KG)	57
FIGURA 11. BOXPLOT SIO (G/KG).....	57
FIGURA 12. RELACIÓN ENTRE EL C G/KG Y LA B. D G/CM ³	60
FIGURA 13. RELACIÓN ENTRE EL WC% Y B. D G/CM ³	61
FIGURA 14. ESQUEMA DE LA COMPOSICIÓN BINARIA PERFIL COMPLETO.....	69
FIGURA 15. ESQUEMA DE LA COMPOSICIÓN BINARIA HORIZONTE A	70
FIGURA 16. RELACIÓN DE LA B. D G/CM ³ CON EL C G/KG Y EL WC %.....	75
FIGURA 17. TOMA DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS DE DENSIDAD APARENTE	94
FIGURA 18. SECADO DE MUESTRAS DE SUELO.....	94
FIGURA 19. GRUPOS DE ESTUDIO	134
FIGURA 20. OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE (D.A).....	137



INDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CORRELACIÓN LINEAL (PEARSON) PARA TODAS LAS VARIABLES ANALIZADAS.	50
TABLA 2. DIFERENCIAS EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO ENTRE EL PÁRAMO DE PAJONAL, BOSQUE DE <i>POLYLEPIS</i> (1) Y EL PÁRAMO HERBÁCEO CON ALMOHADILLAS (2)	58
TABLA 3. RESULTADOS DE LA D.A. CARBÓN ORGÁNICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ANDOSOLES DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA EL BOSQUE DE <i>POLYLEPIS</i> (BP)	61
TABLA 4. RESULTADOS DE LA D.A. CARBÓN ORGÁNICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ANDOSOLES DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA EL PÁRAMO DE PAJONAL (PJ)	62
TABLA 5. RESULTADOS DE LA D.A. CARBÓN ORGÁNICO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ANDOSOLES DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA EL PÁRAMO HERBÁCEO DE ALMOHADILLAS (PHA)	63
TABLA 6. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ANDOSOLES DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA EL BOSQUE DE <i>POLYLEPIS</i> (BP)	65
TABLA 7. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ANDOSOLES DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA PÁRAMO DE PAJONAL (PJ)	66
TABLA 8. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ANDOSOLES DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA PÁRAMO HERBÁCEO DE ALMOHADILLAS (PHA)	67



INDICE DE GRAFICOS

GRAFICO 1. PORCENTAJE DE VEGETACIÓN EN EL PÁRAMO DE PAJONAL	71
GRAFICO 2. PORCENTAJE DE VEGETACIÓN EN EL PÁRAMO HERBÁCEO CON ALMOHADILLAS.....	73
GRAFICO 3. PORCENTAJE DE VEGETACIÓN EN EL BOSQUE DE <i>POLYLEPIS</i>	74



LISTA DE ABREVIATURAS Y TERMINOS

Pj	Páramo de pajonal
Pha	Páramo herbáceo con almohadillas
Bp	Bosque de Polylepis
CEC	Capacidad de intercambio catiónico
Alo	Aluminio extraído por oxalato
Sio	Silicio extraído por oxalato
Alp	Aluminio extraído por pirofosfato
Fep	Hierro extraído por pirofosfato
C	Carbono orgánico
N	Nitrógeno orgánico
B.D g/cm³	Densidad aparente
R	Coeficiente de correlación de Pearson
Fe	Hierro
Al	Aluminio
Si	Silicio
H	Hidrogeno
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
Na	Sodio
K	Potasio
WC %	Humedad del suelo



Yo, **Asanza Cajamarca Juan Carlos** autor de la tesis ***"IMPACTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LAS ACTIVIDADES ANTROPICAS SOBRE LA FORMACIÓN DEL SUELO EN UNA MICROCUENCA DE PÁRAMO EN LA CUENCA ALTA DEL RIO YANUNCAY-QUEBRADA CUEVAS"***, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención del título de **INGENIERO AGRÓNOMO**. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afectación alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Febrero 2015

Asanza Cajamarca Juan Carlos

0104216965



Yo, **Barahona Méndez Juan Andrés** autor de la tesis ***“IMPACTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LAS ACTIVIDADES ANTROPICAS SOBRE LA FORMACIÓN DEL SUELO EN UNA MICROCUENCA DE PÁRAMO EN LA CUENCA ALTA DEL RIO YANUNCAY-QUEBRADA CUEVAS”***, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención del título de **INGENIERO AGRÓNOMO**. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afectación alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Febrero 2015

Barahona Méndez Juan Andrés

0105897284



Yo, **Asanza Cajamarca Juan Carlos** autor de la tesis ***"IMPACTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LAS ACTIVIDADES ANTROPICAS SOBRE LA FORMACIÓN DEL SUELO EN UNA MICROCUENCA DE PÁRAMO EN LA CUENCA ALTA DEL RIO YANUNCAY-QUEBRADA CUEVAS"***, declaro que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación, es de mi exclusiva responsabilidad.

Cuenca, Febrero 2015

Asanza Cajamarca Juan Carlos

0104216965



Yo, **Barahona Méndez Juan Andrés** autor de la tesis ***“IMPACTO DE LA COBERTURA VEGETAL Y LAS ACTIVIDADES ANTROPICAS SOBRE LA FORMACIÓN DEL SUELO EN UNA MICROCUENCA DE PÁRAMO EN LA CUENCA ALTA DEL RIO YANUNCAY-QUEBRADA CUEVAS”***, declaro que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación, es de mi exclusiva responsabilidad.

Cuenca, Febrero 2015

Barahona Méndez Juan Andrés

0105897284



1. INTRODUCCIÓN

El páramo es un ecosistema altoandino que se localiza en la parte norte de la cordillera de los Andes tropicales (Venezuela, Colombia y Ecuador), entre el límite superior del bosque Andino (- 3200 m) y las nieves perpetuas (- 4500 m) (Podwojewski, P. et al.2002). La vegetación está compuesta por prados de altura (neotropical alpine grasslands), principalmente de pajonales que están formados por gramíneas formadoras de penachos, las cuales crecen en condiciones climáticas desfavorables. Generalmente con temperaturas anuales bajas, una alta humedad; precipitaciones moderadas y una evaporación débil (Podwojewski P, Poulenard J. 2000).

Los ecosistemas de páramo en los Andes del Ecuador cubren aproximadamente una superficie de 12.600 km² de territorio nacional (Proyecto Páramo, 1999). Tres cuartas partes de esta superficie ha sido transformada o degradada y prácticamente todo el ecosistema sufre algún grado de intervención humana (Hofstede, 1995). Los suelos de los páramos Ecuatorianos se desarrollan principalmente sobre depósitos de ceniza volcánica de la época del holoceno. Sin embargo, hacia el Sur del país se pueden encontrar páramos que no se han desarrollado sobre depósitos no volcánicos a altitudes sobre los 3000 m (Podwojewski, Poulenard, 2000). La asociación de estos suelos con la vegetación natural del páramo da a estos ecosistemas un papel primordial en el suministro y disponibilidad de agua para las poblaciones asentadas en el valle interandino. La alta capacidad de retención de agua en los suelos es debido en gran parte a la existencia de complejos de Al y materia orgánica que permiten almacenar grandes cantidades de agua en la superficie, los cuales son liberados durante las épocas secas hacia los ríos y riachuelos en formas de flujo base (Podwojewski, et al, Buytaert et al, 2012).



En el Sur del Ecuador la agricultura y el sobrepastoreo se han intensificado durante los últimos 50 años como resultado del crecimiento poblacional, redistribución de la tierra y la implementación de las reformas agrarias (Hofstede, 1999, Vanacker, et al, 2003).

El deterioro de los suelos volcánicos debido a las prácticas agrícolas está poniendo en riesgo la capacidad de recuperación de estos suelos, cuyos efectos podrían ser irreversibles para el funcionamiento sostenible de los ecosistemas de páramo. Por eso es primordial estudiar el efecto del impacto humano sobre la formación y desarrollo del suelo, el cual contribuiría a una mejor comprensión de la génesis de los suelos volcánicos y sus efectos para suministrar servicios ambientales.

1. ANTECEDENTES

En los páramos del Ecuador el sobrepastoreo asociado a las quemas son las prácticas agrícolas más comunes (Podwojewski, 1999). Los propietarios de ganado generalmente queman las grandes gramíneas para disponer de plantas jóvenes que son más apetecibles por el ganado. Esto ha llevado a una degradación continua del páramo y en muchas regiones se observa un afloramiento de las cenizas volcánicas antiguas endurecidas como resultado de una erosión severa de los suelos (Poulenard et al., 2001). La desaparición de la vegetación natural (pajonal) y la compactación de los suelos llevan a una pérdida significativa de la permeabilidad de los suelos e incrementan la susceptibilidad a la erosión, lo que altera la formación y desarrollo del suelo. La formación del suelo está fuertemente influenciada por la mineralogía y la geoquímica del material parental, y por el movimiento de los elementos principales y de traza dentro del solum (Bruinjeel, 1983).



En efecto, los suelos volcánicos de los páramos están constantemente expuestos a una desecación irreversible y pierden su capacidad de retención de agua y de regulación de los flujos (Buytaert et al., 2006, De Bievre, 2012). La disminución de los flujos de agua y solutos a través del suelo alteran significativamente los procesos de la meteorización química, lo cual se refleja en el grado de formación y desarrollo del suelo. La alteración de las cenizas volcánicas es muy rápida debido a su composición, en gran parte formada de vidrios volcánicos. Este proceso conduce a la formación de complejos aluminicos- orgánicos y/o de minerales poco cristalizados como las alófanos y la imogolita (Podwojewski y Poulenard, 2000). Suelos más desarrollados retienen más agua, acumulan más carbono y han perdido gran parte de los cationes intercambiables, por eso las propiedades físicas y químicas de un suelo evolucionan como una función de su grado de alteración. .

Por las razones expuestas anteriormente urge la necesidad de cuidar los suelos de los páramos. La zona de Cancan-Sigsighuayco donde se localiza el presente estudio se caracteriza por el uso intenso de la tierra debido a las actividades humanas, principalmente por el pastoreo extensivo, quemas periódicas del pajonal, páramo convertido a tierras agrícolas, tala de bosques nativos (*Polylepis*) y actividades de recreación como las carreras de automotores y la pesca. Todas estas actividades están poniendo en riesgo la funcionalidad del ecosistema y por lo tanto afectan el suministro de servicios ambientales (agua, suelo, bosques). Con el propósito de preservar y de recuperar las áreas afectadas por las actividades humanas ETAPA EP (Empresa Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento Ambiental de Cuenca), y el Ministerio del Ambiente están llevando a cabo acciones de control que permitan disminuir la presión sobre la tierra.



2. JUSTIFICACIÓN

El ecosistema de páramo cumple funciones primordiales para las poblaciones que viven en las montañas y sus alrededores, las cuales dependen en gran medida de la provisión de agua suministrada por las cuencas alto andinas que son utilizadas para diferentes actividades humanas (agua potable, riego, agricultura y la generación de electricidad) (Hofstede, 1995; Buytaert et al., 2006). Adicionalmente, el páramo es hogar de una alta diversidad de plantas y animales lo que hace de este ecosistema de una importancia ecológica muy relevante (Mena-Vásquez y Medina, 2001).

A pesar del rol importante ejercido por los páramos en la regulación y almacenamiento de agua en suelos derivados de cenizas volcánicas, todavía poco se conoce sobre el efecto de las actividades antrópicas en la formación y desarrollo del suelo. La Cuenca alta del río Yanuncay (CanCan-Sigsiguayco). El presente estudio pretende determinar de cómo los cambios de uso de la tierra y las prácticas agrícolas han afectado a las propiedades físicas y químicas de los suelos de ceniza volcánica. El sobrepastoreo es la principal causa del deterioro del suelo que ha llevado a consecuencias irreversibles en las propiedades del suelo poniendo en riesgo el funcionamiento sostenible del ecosistema de páramo.

Este estudio tiene por objeto evaluar el efecto del cambio del uso de la tierra y el sobrepastoreo en una cuenca de páramo altamente degradada. Mediciones y análisis de las propiedades físicas, químicas e hidrofísicas de los Andosoles e Histosoles nos permitirá sacar conclusiones sobre el efecto de las actividades antrópicas en la génesis del suelo, ya que es el producto de la interacción de la roca madre, el clima, los microorganismos que están condicionados por la acción del tiempo y el relieve. (Duran, 2003)



3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Evaluar los efectos de los tipos de cobertura vegetal con las actividades antrópicas en la formación y desarrollo del suelo en una Microcuenca del río Sigsihuayco (quebrada Cuevas).

3.2. Objetivos específicos

- Estudiar el efecto del tipo de cobertura vegetal en las propiedades físicas y químicas de suelos derivados de ceniza volcánica.
- Determinar el grado de formación y desarrollo de los Andosoles mediante la cuantificación y análisis de parámetros físicos y químicos del suelo.
- Determinar el grado de alteración de los suelos volcánicos (Andosoles) basados en mediciones de minerales poco cristalizados (alofanos e imogolita) y complejos de aluminio – orgánicos.

4. Hipótesis

- El tipo de cobertura vegetal ha sido influenciado por el sobrepastoreo y por lo tanto afecta el grado de evolución de los suelos volcánicos como los Andosoles. Para esta hipótesis se comparara sitios alterados (páramo de pajonal y paramo herbáceo con almohadillas) con un referente natural (bosque de *Polylepis*).
- El grado de alteración de las cenizas volcánicas afecta a las propiedades físicas, químicas e hidrofísicas en el perfil del suelo. Esta hipótesis será contrastada mediante la comparación de los diferentes horizontes en el perfil de suelo.



5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Características generales de los Páramos

El páramo consiste de planicies y valles accidentados de origen glacial con una gran variedad de lagunas, pantanos y praderas húmedas. Como resultado de la poca presencia humana, la calidad del agua es excelente y los ríos que descienden desde el páramo tienen un alto y sostenido flujo base. Por lo tanto y porque el agua subterránea es escasa y difícil de explotar, la mayoría de grandes ciudades en el norte de los Andes (por ejemplo: Bogotá y Quito) dependen del páramo para suministro de agua (De Bièvre et al., 2012).

La hidrología del páramo tiene características extraordinarias. Comparando con cuencas montañosas en otras regiones, los ríos que descienden desde los páramos tienen un flujo base sostenido como resultado de la elevada capacidad de regulación del agua del páramo. Sin embargo, esta función está amenazada por un incremento de la actividad humana durante los últimos años. Cada vez más el páramo es usado para pastoreo intensivo de ganado, cultivos de papas, frijoles y plantaciones de pinos entre otros (Buytaert, 2012).

La característica fundamental de los páramos es almacenar y regular el agua que reciben de las precipitaciones y del descongelamiento de la nieve y el hielo que pueden encontrarse más arriba. Esta propiedad se debe principalmente a la gran acumulación de materia orgánica y a la morfología de ciertas plantas de páramo (Josse et al., 2000).

Los suelos típicos de páramo son negros y húmedos, debido a la alta humedad y al clima frío, la descomposición de la materia orgánica es muy alta, lo que hace que se acumule una gruesa capa de suelo orgánico (Josse et al., 2000).



5.2. Importancia del páramo

El agua del páramo son importantísimas las poblaciones que viven en los Andes a gran altura. Es consumida como agua de uso doméstico, de uso agrícola y es usada para la generación de energía (De Bièvre et al., 2012).

5.2.1. Uso urbano

Una frase podría resumir todo lo referente a este tema: “las ciudades de altura no serían posibles sin el flujo regulador del páramo”. Ciudades como por ejemplo: Bogotá, Quito y Cuenca, consumen agua que es proveniente casi exclusivamente del páramo. Estas ciudades son solamente posibles por que los ríos de los que captan son bien regulados debido a las características específicas del páramo. Sin este flujo regulado no tendrían ninguna otra fuente de agua regulada disponible para su supervivencia. Grandes acuíferos de donde se podría tomar agua subterránea, por ejemplo, no existen (De Bièvre et al., 2012).

5.2.2. Usos agrícolas

El riego en las montañas del Ecuador es una práctica muy antigua. Ya en los tiempos precolombinos, la cultura Cañarí y otras fueron muy activas en la construcción de grandes esquemas de riego. Los Incas mejoraron estas infraestructuras aplicando el conocimiento de otras culturas conquistadas en lo que hoy es Perú y Bolivia. Casi la totalidad del riego en la Sierra ecuatoriana se hace con agua de páramo (De Bièvre et al., 2012).

5.2.3. Energía hidroeléctrica

El páramo tiene muy buena aptitud para generar energía hidroeléctrica. La topografía provee excelentes sitios para la construcción de presas pequeñas y los constantes y confiables flujos base garantizan una



generación permanente. Ejemplos de centrales hidroeléctricas dentro del páramo son: Saucay y Saymirín con una capacidad de 14.4 MW y 24 MW respectivamente, cerca de la ciudad de Cuenca. Otra es la central Pisayambo al norte del país con una capacidad de 70 MW. Sin embargo, también otras centrales como la central Paute con una capacidad de 1075 MW, una de las más grandes plantas hidroeléctricas de la región Andina, obtienen gran parte de sus aguas del páramo. Se estima que entre el 25 y el 40 % del agua que llega al embalse de Amaluza. (Buytaert et al., 2006) se origina en el páramo en la Cordillera Central y Occidental, pero en estiaje representa casi el 100 %.

La región del páramo por sí misma es el hogar de pequeñas plantas hidroeléctricas, que aprovechan los fuertes gradientes altitudinales. Pequeñas plantas hidrogenadoras construidas aguas arriba en el páramo tiene ventajas claras sobre los grandes sistemas hacia abajo. (Buytaert et al., 2006)

5.3. Clima

El páramo tiene el típico clima tropical de alta montaña. Debido a su localización cercana a la línea equinoccial, la radiación solar diaria es casi constante en todo el año. Esta constancia resulta en una baja variabilidad estacional en temperatura media del aire, en contraste con el ciclo diario, el cual es totalmente marcado. Variaciones de temperatura durante el día de más de 20 °C son comunes (Buytaert, 2004).

La temperatura media a 3500 m está alrededor de 7 °C (Buytaert, 2004). La temperatura decrece en una tasa promedio de 0,5 a 0,6 °C por cada 100 m (Baculima et al., 1999).

La precipitación es moderada, variando desde los 700 mm hasta los 3000 mm (Luteyn., 1992). Sin embargo, la lluvia es extremadamente variable en



espacio y tiempo, las intensidades de lluvia son bajas (como lloviznas) lo que da al suelo una humedad permanente y permite su evolución rápida. Raramente la estación seca pasa de un mes (Podwojewski, y Poulenard, 2000).

El viento puede ser muy fuerte y altamente variable en dirección, debido a las pendientes fuertes y topografía accidentada. Por debajo de los 4000 m de altitud, no son frecuentes las heladas y cuando estas se dan, están restringidas a unas pocas horas antes del amanecer. La gradiente altitudinal representa el eje más obvio de variabilidad de temperatura. (Podwojewski y Poulenard, 2000).

5.4. Suelos del páramo

A pesar de la compleja geología y topografía, los suelos del páramo son relativamente homogéneos. El tipo de suelo y las propiedades son principalmente determinadas por dos factores: El clima y la existencia de una capa homogénea de cenizas de erupciones volcánicas del cuaternario (De Bièvre et al., 2012). El clima frío, húmedo y la baja presión atmosférica favorecen la acumulación de la materia orgánica en el suelo.

Los suelos son generalmente clasificados como Andosoles en la “World Reference Base for Soil Resources” (FAO/ISRIC/ISSS, 1998). En áreas más saturadas por agua o en zonas con menor influencia volcánica, se desarrollan Histosoles (Buytaert, 2004). En zonas más empinadas o donde hay afloramientos de roca, son más los Regosoles (Dercon et al, 1998).

Se notan también diferencias importantes entre los suelos de páramo que cubren las partes más altas y más bajas en una misma montaña: estas diferencias están influenciadas por el clima que es de gran importancia en



la evolución de los suelos a través del tiempo y por la cercanía al punto de emisión volcánica, ya que del tamaño y peso de las partículas depende la distancia a la que éstas se distribuyan. Así, en los páramos localizados en las zonas más altas, los suelos son diferentes a los de las zonas más bajas porque tienen poco espesor, poseen mucha roca, arena y muy poca materia orgánica y, por tanto, tienen poca capacidad de retención de agua. (Podwojewski y Poulenard, 2000).

El carbón orgánico típicamente está alrededor del 10 %. En sitios húmedos (>900 mm año), contenidos de C orgánico por encima del 40 % no son nada raros (Podwojewski, et al., 2002, Buytaert, et al. 2005b).

Como un resultado de la baja densidad aparente y de la estructura abierta y porosa, los suelos del páramo tienen una capacidad de retención de agua muy alta (80-90 % en saturación) (Buytaert, 2004, Iñiguez, 2003).

En cada caso, las condiciones son distintas pero los suelos volcánicos de los páramos comparten ciertas características químicas como la asociación entre aluminio activo y materia orgánica. Las más importantes características físicas y químicas inherentes a esta asociación son densidad aparente baja, consistencia untuosa, alta retención de humedad, deshidratación irreversible, alta estabilidad estructural, alta fijación de fósforo, alta capacidad reguladora (Podwojewski, Poulenard, 2000).

El suelo es otro de los factores en íntima relación con la vegetación. La geología de los Andes es muy compleja, lo que ocasiona una gran variabilidad en los suelos, en el Ecuador pueden distinguirse dos grupos básicos de suelos según el tipo de roca madre: de origen volcánico reciente y los que no han estado sometidos a la actividad volcánica recientemente (Podwojewski, Poulenard, 2000).



5.4.1. Factores de formación del suelo

La geomorfología estudia la evolución de la superficie terrestre, los factores, procesos, formas y sedimentos resultantes de los procesos; teniendo en cuenta una dimensión temporal e histórica. De la dimensión temporal en el estudio de las formas se desprende que la superficie del territorio cambia a lo largo del tiempo, y esta evolución lleva aparejada la del suelo. Los diversos rasgos y características de un suelo reflejan su evolución histórica, que para ser entendida debe relacionarse con la posición que ocupa en el paisaje y los suelos próximos. (Porta et al., 1999).

Las condiciones de formación de los suelos depende de tres factores principales que son: el clima, la roca madre y la edad de los suelos, pero para mayor comprensión citaremos otros. (Duran, 2003).

5.4.1.1. Procesos generales de formación de suelo

Los procesos elementales de formación del perfil del suelo son los siguientes:

- a).** Meteorización de las rocas y minerales.
- b).** Acumulación y evolución de la materia orgánica.
- c).** Translocación de compuestos solubles o coloidales en el perfil.
- d).** Rejuvenecimiento del suelo (aporte de material fresco) por distintas vías.

A estos se les podría agregar al desarrollo de la estructura del suelo, reconocido expresamente como proceso de formación del suelo. (Jenny, 1941).

a) Meteorización de las rocas y minerales



El proceso de cambio en el material rocoso, denominado meteorización, es una combinación compleja y continua de destrucción y síntesis. La roca y las partículas minerales pueden sufrir desintegración física sin cambio en su composición química. El proceso de disgregación de las partículas depende de la aplicación de alguna fuerza. Esto incluye fuerzas como la presión intensa, la carga normal y el esfuerzo cortante (por ejemplo, la trituración de partículas bajo capas de hielo); fuerzas de expansión debidas a cambios de temperatura, crecimiento de cristales (por ejemplo el hielo) o actividad vegetal o animal; o presiones hidrostáticas que pueden ser importantes en los procesos controlados por ciclos de humectación y secado.

Existen 3 tipos: Física, química y biológica.

- **Meteorización Física:** La meteorización física se refiere a los efectos de factores climatológicos tales como la temperatura, el agua y el viento. Uno de los más importantes es el efecto cuña de hielo. El agua se expande cerca de un 10 por ciento cuando se congela. De esta forma, si el agua corre entre las grietas de la roca, la fuerza del efecto cuña del hielo rompe la piedra. De forma menos importante, el simple calentamiento de la roca causa su dilatación y el enfriamiento su contracción. El ciclo diario de calentamiento y enfriamiento puede debilitar y fracturar la roca. La lluvia, el agua y el polvo del viento también desgastan la superficie de las rocas (Plaster, 2000).
- **Meteorización Química:** La meteorización de las rocas por el agua implica dos amplios pero separados grupos de procesos: la descomposición ocasionada por el agua y el destino de los productos de descomposición. Dónde el agua percola libremente a través del medio, los productos solubles de los procesos de meteorización serán eliminados de la capa meteorizada, entrarán



en las agua subterráneas y con el tiempo pueden llegar a los ríos. La temperatura del suelo afecta en gran manera a la velocidad con la que tiene lugar estos procesos de meteorización; cuanto más caliente está la roca en contacto con el agua, más rápida es su descomposición; y cuanto mayor es la pluviometría, supuesto que hay drenaje libre del agua, más rápidamente son eliminados los productos solubles. La velocidad de descomposición de una partícula mineral dada depende generalmente de su superficie, por lo que cuantas más pequeñas sean las partículas, mayor será la velocidad por unidad de volumen. La velocidad también depende de la temperatura, del pH de la solución y de la composición química y estructura cristalina del mineral. (Porta, 2003).

La hidrólisis, frecuentemente considerada el proceso más importante de los muchos que se dan en la meteorización de los silicatos y aluminosilicatos, implica reacciones con el agua. Los cationes de un mineral son reemplazados por iones H^+ formados por disociación del agua y los iones OH^- se combinan con ellos. Los productos de la hidrólisis pueden ser lavados, permanecer en solución o convertirse en parte de la red cristalina de nuevos silicatos secundarios. (Porta, 2003).

La meteorización no cesa una vez que se han formado los minerales secundarios, porque éstos son sólo estables entre ciertos límites de concentraciones de sílice soluble, cationes alcalinos y alcalinotérreos y H^+ . Si estos solutos son lavados con el tiempo, en ambientes fuertemente meteorizantes, los minerales secundarios iniciales se meteorizan a estados químicos aún más estables.

- **Meteorización Biológica:** Actúan los seres vivos a través de los productos que liberan (Porta, 2003).

b) Acumulación y evolución de la materia orgánica



El suelo y los organismos vivos forman en sí mismo un ecosistema y sus componentes son la vegetación, la fauna incluyendo los microorganismos y el hombre. La vegetación está muy ligada al clima y en cierto sentido, lo está al material parental y ejerce mucha influencia en el tipo de suelo que se forme. (Zapata, 2006)

La humificación de los restos orgánicos está caracterizada, inicialmente, por una fragmentación de los restos orgánicos y por la formación del humus, a medida que avanza se presenta una disminución continua de la relación C/N. La meteorización de la roca está caracterizada por una fragmentación física, la formación de arcillas y la disminución de la relación Si/Al del material residual. Así, la humificación y la meteorización pueden ser considerados como procesos análogos (Kumada, 1987) dado que ambas buscan la producción de compuestos estables en el ambiente donde se forman.

c) Translocación de compuestos solubles o coloidales en el perfil.

Este proceso general de formación del suelo es inducido por el movimiento de agua a través del perfil, esencialmente descendente por acción de la fuerza de gravedad y resulta en el lavado de compuestos en solución o en suspensión coloidal que pueden ser total o parcialmente eliminados del perfil o ser translocados de un horizonte superficial a otro más profundo. Los horizontes empobrecidos compuestos por este proceso se denominan eluviales y los enriquecidos en ello son los horizontes iluviales. (Duran, 2003)

La migración de sustancias favorece así la diferenciación del suelo en horizontes genéticos como resultado de la redistribución y reorganización de sus componentes orgánicos o inorgánicos.



d) Rejuvenecimiento del suelo (aporte de material fresco) por distintas vías.

Se incluye un conjunto de procesos, algunos de naturaleza más geológica que edafológica, que tienen en común el provocar la perturbación mecánica del suelo y aportar en su superficie o traer a su proximidad, material mineral fresco o relativamente poco meteorizado. Este proceso está a menudo asociado a la eliminación por erosión de los materiales más antiguos y meteorizados. Todo ello justifica el nombre con que se le conoce: rejuvenecimiento. Los procesos involucrados son los discutidos someramente a continuación. (Duran, 2003).

- **Erosión**

La erosión de los horizontes superficiales, al menos en grado moderado, elimina los materiales más meteorizados y expone el material más rico de la profundidad, con lo que suelos empobrecidos pueden mejorar su fertilidad natural. El proceso, que puede ser inefectivo o aún perjudicial en los suelos agrícolas naturalmente fértiles de las regiones húmedas y subhúmedas, es sin embargo efectivo en los trópicos húmedos. Allí es frecuente observar que los agricultores, cuya tecnología es en general rudimentaria, evitan los suelos de las superficies más estables, pese a su topografía favorable, para instalar sus cultivos en los suelos de laderas erosionables, donde una erosión geológica sostenida ha mantenido al suelo en un rejuvenecimiento constante que ha impedido el agotamiento de las reservas minerales por meteorización. (Duran, 2003)

- **Sedimentación**

El aporte reciente y a veces periódico o rítmico de sedimentos rejuvenece al suelo, incorporando materiales frescos ricos en minerales primarios y contrarresta total o parcialmente los efectos de la meteorización y la lixiviación que empobrece al suelo. El origen de los sedimentos puede ser



eólico, aluvial o coluvial. Los aportes eólicos son de importancia en algunas zonas áridas o en zonas de actividad volcánica donde la deposición de cenizas dan lugar a menudo a suelos fértiles, aún en zonas de temperatura y precipitación altas que favorecen una intensa meteorización de los minerales. (Duran, A. 2003)

5.5. Descripción de los suelos de páramo

5.5.1. Andosoles

El tipo general de suelo que se forma sobre las cenizas volcánicas es un ANDOSOL (FAO/ISRIC/ISSS, 1998), del japonés AN-DO, que significa suelo negro. Debido a la composición de los depósitos volcánicos con gran parte de vidrios, su alteración es muy rápida y conduce a la formación de complejos alumino-orgánicos y/o de minerales poco cristalizados como los alofanos y la imogolita. Los Andosoles son suelos jóvenes con horizontes poco diferenciados.

✓ Características del horizonte Andico

a) Parámetros morfológicos

El color general del horizonte superior es negro debido a la alta tasa de materia orgánica. La estructura es muy estable con micro agregación y alta porosidad.

Son suelos resistentes a la erosión, con una buena tasa de humedad y una gran permeabilidad que permite un buen desarrollo de las raíces. (PRONAREG-ORSTOM, 1978B 1985).

b) Parámetros físicos

La densidad aparente es muy débil ($<0,9$ a $0,3$). La tasa de retención del agua es muy elevada (del 70% en los suelos vítricos hasta 200% en los Andosoles no alofánicos en función del peso seco). Esta alta tasa de



retención de agua a 100 KPa (pF 3), sirve como criterio de diferenciación en los mapas de suelos en el Ecuador (PRONAREG-ORSTOM, 1978B 1985).

Esta retención de agua es reversible hasta un punto después, la sequía es irreversible. La alta tasa de capacidad de retención de agua es debida a la alta porosidad. Cuando el suelo se seca, éste se retracta y el tamaño de los poros disminuye, lo que tiene como consecuencia una notable baja en la capacidad de retención de agua (Maeda et al., 1977; Nanzzyo et al., 1993).

c) Parámetros químicos

Los Andosoles no tienen arcillas mineralógicas bien cristalizadas. La presencia de minerales pocos o no cristalizados está caracterizada por la extracción por oxalato en un medio ácido sobre tierra fina. $\text{Alox}^+2\text{Feox} > 2\%$ caracteriza a un Andosol (Vitric) típico mientras que un suelo con propiedades ándicas, tiene las siguientes propiedades: $0,4\% \text{Alox}^+2\text{Feox} < 2\%$. (Podwojewski, Poulenard, 2000).

La tasa de carbono orgánico es muy alta. Son los suelos, después de los Histosoles (turbas), que retienen la más alta cantidad de carbono. Esto se explica por el régimen de temperatura con promedio bajo y por la formación de complejos aluminio-orgánicos muy estables y parcialmente tóxicos para algunos microorganismos que descomponen la materia orgánica. Los Andosoles ácidos de tipo no alofánicos tienen una capacidad de fijación de carbono más alta que los alofánicos.

Los Andosoles tienen cargas variables que dependen del pH. La capacidad de intercambio catiónico en función del pH del suelo. Cuando



el suelo pierde sus cationes, su pH y su capacidad de retención aniónica se incrementa. (Podwojewski, Poulenard, 2000).

Los Andosoles tienen una alta tasa de retención aniónica, en particular los fosfatos y los sulfatos. La retención de fósforo es superior al 85%. Estas características limitan la eficiencia de la fertilización de los cultivos sobre los Andosoles (Podwojewski, Poulenard, 2000).

d) Parámetro mineralógico y químico

La composición mineral de la fracción de arcilla de los Andosoles depende de algunos factores como: edad genética de los suelos, composición del material parental, pH, saturación de bases, régimen de humedad, tamaño de los depósitos de cenizas volcánicas, contenido y composición de la materia orgánica. La fracción de arcilla de los Andosoles contiene típicamente materiales amorfos como es la alófana, la imogolita y complejos de humus rico en aluminio y hierro junto con sílice opalino. La alófana, imogolita y complejos de Al-humus pueden ocurrir juntos pero sin embargo los dos grupos tienen condiciones conflictivas de formación (FAO/ISRIC/ISSS, 1998).

Según las proposiciones del WRB (Shoji et al. 1996) y del Referencial Francés (Quatin, 1995) se pueden distinguir en los páramos del Ecuador tres tipos de Andosoles del menos evolucionado hasta el más evolucionado.

- **El Andosol vítrico:** Estos suelos tienen una alta tasa de minerales primarios poco alterados. Tienen una edad inferior a 2.000 años. No son precisamente Andosoles debido a la débil presencia de minerales poco o no cristalizados: $0,4\% < Alox + 1/2 Feox < 2\%$. Son suelos característicos de cenizas frescas de volcanes activos (Pichincha, Sangay, Tungurahua, etc.) y de las zonas secas (cerca del arenal del Chimborazo y del Cotopaxi). Su capacidad de



retención de agua y su tasa de carbono orgánico están más bajas que en los Andosoles y su densidad aparente es más alta (entre 0,9 y 1,2) debido a la importante cantidad de minerales primarios no alterados. Estos suelos son fértiles y ricos en cationes, pero debido a su granulometría muy arenosa, no retienen el agua y los fertilizantes.

- **El Andosol alofánico (silandosol):** estos Andosoles ($A_{lox} + 1/2 Fe_{ox} > 2\%$) tienen una predominancia de minerales paracrystalinos ($Si_{ox} > 0,6\%$; $Al_{py}/A_{lox} < 0,5\%$). La cantidad de aluminio intercambiable es limitada ($Al^{+++}/CEC < 20\%$). El pH es superior a 5. Estos suelos tienen una fertilidad que depende de su edad y de su estado de alteración, lo que se expresa por su contenido en cationes intercambiables. Generalmente son suelos fértiles con deficiencia de fósforo y de azufre. Los que tienen la más grande cantidad de agua (debido al régimen hídrico) tienen una fertilidad más baja debido al exceso de humedad.

Este tipo de suelo está descrito en la provincia de Chimborazo en la cordillera occidental (páramo de la carretera de Riobamba hasta Bucay. las cenizas volcánicas antiguas del Cañar-Azogues en la carretera de Pindilig, los suelos del Cajas también tiene estas características (parte inferior del perfil (CUE) Cuenca, que proviene de la alteración de la roca madre compuesta de material volcánico muy antiguo.

- ✓ **El Andosol no alofánico (aluandosol):** estos suelos tienen una mayor capacidad de retención de agua (hasta 200 g/100 g de suelo seco) y de carbono (más de 20 g/100 g de suelo seco) que los otros Andosoles. Son el resultado de una evolución más larga.

Estos Andosoles tienen el aluminio en complejo con materia orgánica ($Si_{ox} < 0,6\%$; $Al_{py}/A_{lox} > 0,5\%$). El pH de estos suelos es muy bajo y la



cantidad de cationes intercambiables muy débil. La tasa de Al^{+++} intercambiable es alta ($Al^{+++}/CEC > 20\%$). En los Andosoles no alofánicos, la retención de fósforo y de azufre es un factor muy limitante para los cultivos. Generalmente estos suelos están presentes en lugares donde el exceso de frío y de humedad limita el potencial de los cultivos.

Estos Andosoles están muy bien representados en Ecuador, como en el Carchi (paramo del Ángel) o en la parte superior de los Andosoles de los páramos del Cañar y del Cajas (Podwojewski, Poulenard, 2000).

5.6. Retención de agua

Desde una perspectiva física, los suelos del páramo tienen muchas propiedades en común con las turberas. (Poulenard et al., 2003). En sitios húmedos (>900 mm año⁻¹), contenidos de C orgánico por encima de 0,4 g g⁻¹ no son nada raros (Buytaert et al., 2005, Podwojewski et al. 2002). Sitios con depósitos de ceniza más frecuentes están caracterizados por suelos más jóvenes con contenidos de carbono de cerca de 0,04 a 0,1 g g⁻¹ (Zehetner et al., 2003). En regiones más secas, la acumulación de materia orgánica es más lenta y se encuentran contenidos similares de carbono (Podwojewski, et al., 2002). Es común encontrar una correlación negativa entre la altitud y el contenido de carbón orgánico (Zehetner et al., 2003).

Como un resultado de la baja densidad aparente y de la estructura abierta y porosa, los suelos del páramo tienen una conductividad hidráulica alta, una capacidad de retención de agua muy alta. Esta retención de agua extremadamente alta de los Andosoles (Podwojewski et al., 2002) y es mayormente atribuida a la presencia de minerales amorfos de arcilla tales como alófana e imogolita. Sin embargo, en muchos suelos del páramo, en particular en suelos altamente meteorizados en regiones húmedas, estos minerales de rango corto están ausentes, ya que el Al y Fe que son



liberados por la destrucción de la ceniza volcánica están completamente ligados a la materia orgánica (Buytaert, 2004; Poulenard, 2000). Aquí, la acumulación del carbón orgánico causa un comportamiento similar (Buytaert, et al., 2005). En particular, el contenido de agua a – 1500 kPa y por consiguiente la cantidad de micro poros, están altamente afectados por la cantidad de carbón orgánico.

5.7. Degradación de los suelos en los páramos

5.7.1. Degradación antrópica

La degradación antrópica es el principal factor de degradación del páramo. Esta degradación genera cambios profundos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos. Se pueden definir tres tipos mayores de causas: fuego, sobrepastoreo y cultivos aunque hay otros factores (construcción de carreteras, construcción y fugas de canales de riego, paso de vehículos pesados) que si bien son más localizados producen efectos espectaculares. (Mena y Medina. 2001).

Cuando un canal de riego tiene fugas se produce localmente un exceso de agua que sobrepasa al límite de liquidez del suelo y genera movimientos en masa y deslizamientos en cuchara.

5.7.2. Quemas

La quema de pajonales para el pastoreo se volvió una práctica común en los páramos, siendo actualmente la actividad directa que más superficie afecta. Aunque la práctica se remonta a tiempos preincaicos (con fines religiosos o de cacería) fueron los colonizadores españoles quienes la generalizaron y aplicaron sobre amplias extensiones (Hofstede, 2001).

Los fuegos naturales existen y generan una regulación y rejuvenecimiento del ecosistema, pero los fuegos producidos por el ser humano son mucho



más repetitivos y causan efectos casi permanentes sobre los páramos (Mena y Medina. 2001).

La quema y sobrepastoreo está íntimamente asociados, como las grandes gramíneas son poco apetecibles, los propietarios de ganado las queman para disponer de plantas jóvenes más apreciadas por lo bovinos y ovinos (Podwojewski, 1999).

Las quemas sobre los pajonales se transformaron en una herramienta para mejorar la palatabilidad y accesibilidad del forraje (Williamson, et al., 1986). Así mismo, el fuego favoreció el establecimiento o la expansión de formas de vegetación que pudieron ser aprovechadas directamente, como los céspedes, con forrajes más productivos y de mejor calidad bromatológica (Ramírez et al., 1996).

El fuego disminuye la cobertura vegetal que sirve de freno al impacto de la lluvia. La desaparición parcial de la cobertura vegetal que capta agua y dispersa su energía, produce un incremento de zonas desnudas que se transforman en caminos preferenciales para el escurrimiento del agua (Podwojewski y Poulenard, 2000).

Entre los impactos producidos por el fuego en páramos algunos autores proponen: la expansión del pajonal más allá de los límites naturales y la homogenización del paisaje hacia un pajonal uniforme en fuegos extensos pero aislados, la disminución y desaparición de arbustos y remanentes de bosques, la disminución de frailejones y la formación de mosaicos de pastos y pajonales en fuegos recurrentes (Podwojewski y Poulenard, 2000).

En caso de fuegos repetitivos, todos estos efectos se acumulan provocando una disminución de la biodiversidad e incrementando los riesgos de erosión (Podwojewski et al., 2002)



Las quemadas pueden afectar severamente la estabilidad del suelo. Estas prácticas inducen a la formación de agregados del suelo hidrológico y estables con alta repelencia al agua (Podwojewski, Poulenard J. 2000). El grado de la repelencia de agua depende de la cantidad y del tipo de la materia orgánica (Poulenard et al., 2001).

No sólo las temperaturas alcanzadas durante un incendio son capaces de alterar el comportamiento hídrico del suelo. (Jaramillo, 2003), mostró que el secado de las muestras de Andosoles incrementaba la repelencia al agua del suelo así como el espesor de éste afectado por ella, al incrementar la temperatura de secado desde la condición de campo (aproximadamente 15 °C) hasta temperatura de 35 y de 105 °C. (Poulenard et al., 2001).

5.7.3. El sobrepastoreo

La ganadería es otro agente transformador de los páramos, el pastoreo de ganado vacuno, equino, lanar y caprino es amplio en los páramos ubicados por encima del límite de los cultivos (3500 a 4000 m). Estos animales se alimentan de los pastos naturales que se encuentran en los pajonales y en pequeño porcentaje de especies mejoradas como *Poa*, *Gordura*, *Raygrass* y *Puntero*. El ganado se desplaza libremente y aprovechan los valles glaciares, los sitios bien drenados, las turberas (Castaño y Franco, 2003).

La resistencia mecánica de los Andosoles e Histosoles es muy baja. Al ser pisados, estos suelos se compactan y pierden su extraordinaria capacidad de retención de agua. La compactación es menor con los camélidos andinos que con ganado vacuno y bovino (Buytaert et al., 2012).

Debido al pisoteo de los animales, especialmente el del ganado vacuno por su peso, se produce en las lomas pequeñas una erosión típica en



escalas sobre las pendientes. Con el incremento de la compactación se favorece la erosión en plancha que puede multiplicarse sobre toda la vertiente (Podwojewski, 1999).

El pisoteo afecta y elimina plántulas y especies erectas de bajo porte. En síntesis, los efectos directos se relacionan con daños selectivos a plantas individuales por pisoteo. A mediano y largo plazo ocurren cambios en las comunidades de plantas y animales, perturbaciones en el suelo y en los procesos hídricos, lo cual tiene consecuencias sobre la disponibilidad de recursos y hábitats para la biota nativa (Landsberg et al., 1999).

El caso del sobrepastoreo ovino es el más preocupante. Primeramente, la oveja pasta la fina cobertura vegetal situada entre las matas y luego los tiernos retoños de las grandes hiervas. La cobertura herbácea baja termina por desaparecer y las ovejas cavan el suelo para comer las raíces, dejando únicamente matas aisladas en medio de zonas totalmente desnudas (Podwojewski, 1999).

Características como la abundante acumulación de necromasa en pie y de carbono y nitrógeno en la materia orgánica del suelo, hacen del ecosistema páramo un gran sumidero de nutrientes y energía. Cuando está sometido a fuego y pastoreo sufre transformaciones en los compartimientos funcionales de biomasa asimiladora y necromasa. La proporción biomasa asimiladora aérea / necromasa aumenta con consecuencias para la reserva de nutrientes y carbono (Hofstede, 1995).

De igual forma, se producen huecos en la superficie y se forman grandes charcos que perturban totalmente el micro topografía del suelo y producen líneas de terraceo. La producción ganadera, que conlleva la siembra de pastos y la compactación del suelo, impide la sucesión natural de la vegetación y afecta a los procesos de descomposición de la materia orgánica y la respiración del suelo. Así mismo, se pierden los poros por



donde transita el agua y el aire, por lo que se genera un desequilibrio de la capacidad de almacenamiento, retención y regulación de agua en el suelo. (Castaño y Franco, 2003).

5.7.4. La agricultura

Hay cultivos que se dan en los páramos aunque su elevación óptima esté más abajo. Especialmente después de las reformas agrarias, en que las comunidades indígenas les fueron entregadas terrenos propios por parte de las haciendas, empezó la presencia permanente en el páramo. Así, en muchas áreas se están cultivando papas, cebada, habas y en menor extensión; ocas, mashuas y mellocos (Castaño y Franco, 2003).

El principal efecto de la agricultura con labranza en los suelos del páramo es la degradación irreversible de la estructura, principalmente en lo que respecta con el contenido de materia orgánica y de los minerales alófana, imogolita (Buytaert, 2004).

En el primer año los cultivos en el páramo presentan un rendimiento relativamente alto, ya que los cultivos utilizan las reservas de fósforo del suelo y el riesgo fitosanitario es bajo debido a la presencia de Fito patógenos, pero en cultivos intensivos presentan rendimientos bajos por el frío, heladas y al riesgo fitosanitario como consecuencia de la humedad y a la carencia de fósforo (Podwojewski y Poulenard, 2000).

Los cultivos causan un secamiento irreversible en el suelo. Con este secamiento se desarrolla una hidrofobia de los agregados, los cuales, después de lluvias fuertes, flotan sobre la lámina de agua con su densidad aparente muy baja (Castaño y Franco, 2003). Se provoca una erosión general con translación de los agregados de arriba hacia debajo de la pendiente, sin que aparezcan evidencias claras de esta erosión.



Con experimentos de simulación de lluvia en el páramo de El Ángel (Carchi) la erosión sobre suelos antiguamente cultivados sin siembra de cobertura pos-cosecha puede ser 500 veces más fuerte que en áreas naturales o recién cultivadas. Las tierras antiguamente cultivadas pueden transformarse así en tierras degradadas (Podwojewski y Poulenard, 2000).

Otro punto de importancia, pero igualmente difícil de evaluar y cuantificar, es el de los efectos a largo plazo, como son los desequilibrios en las cadenas tróficas, la acumulación paulatina de toxinas en los componentes bióticos y abióticos y a la desaparición paulatina de la fauna silvestre y de la micro flora del suelo que actúa como reguladora natural de las diferentes interacciones y de las poblaciones “plaga” en nichos no perturbados. Esto, a la luz de la de la producción agrícola monocultivista e intensiva, han dejado de jugar papeles protagónicos pasando a secundarios y, en los casos más drásticos, han desaparecido (Hofstede, 2001).

5.7.5. La forestación con pino

El PROMAS monitoreó dos Microcuencas ubicadas al noroeste de la ciudad de Cuenca durante el transcurso del año 2004, que tienen diferente cobertura vegetal; pajonal y pino. La conclusión fue que la respuesta en tiempo a un determinado evento de lluvia es similar, en otras palabras los mismos procesos hidrológicos son los que están presentes o la regulación del agua en el suelo no cambió. Sin embargo, el caudal específico mínimo de la cuenca con pajonal es aproximadamente tres veces más alto con respecto a la cuenca con pinos, debido al mayor consumo de agua por evapotranspiración de parte de los árboles (Buytaert et al., 2012).



Existe bastante evidencia de que en la zona alto andina hay varios efectos nocivos de la forestación masiva, siendo uno de ellos que durante la implantación se retira parte de la vegetación existente y se disturba el suelo, pero aún más importantes son los efectos durante el crecimiento de la plantación, especialmente en especies de pino (*Pinus* spp.), que consumen mucha agua, disminuyen el rendimiento hídrico y secan el suelo, razón por la cual hay mayor descomposición y posiblemente pérdida de la fertilidad (Hofstede, 1997).

En lo que tiene que ver con la materia orgánica, se espera que la descomposición de la hojarasca de *Pinus* spp, sea lenta por la pobre calidad, como alta relación C/N y altos contenidos de polifenoles del material (Hofstede y Aguirre. 1999).

En el caso de secarse, los suelos pierden la conexión entre partículas minerales y orgánicas, el contenido de materia orgánica disminuye y los suelos se transforman de retenedores de agua a repelentes de agua. Así el costo de tener un beneficio económico por lo que se cultiva encima del suelo, es la pérdida de dos importantes beneficios ambientales del suelo de páramo: agua y carbono (Hofstede y Aguirre. 1999).

Los bosques de especies exóticas de rápido crecimiento tienen mucha influencia sobre la vegetación nativa. Por ejemplo, el eucalipto (*Eucaliptus* sp.), que son especies alelopáticas que dejan caer una hojarasca con fenoles que inhiben el crecimiento de otras especies (Lima, 1996).

5.7.6. La forestación con bosque nativo

Los bosques nativos altoandinos crecen en sectores de topografía escarpada y montañosa, están compuestos por especies nativas con alturas superiores a los tres metros y ocupan el 12.99 % (4,994.70 ha.). Las familias más representativas son: Melastomatácea (*Miconia* sp. *Axinaea affinis*, *Brachyotum confertum* Bonpl. Triana); Rubiaceae



(*Psychotria* sp.); Araliaceae (*Oreopanax* sp.); Asteraceae (*Werneria pumila* Kunth, *Gynoxys miniphylla* Cuatrec). (Verdugo, 2006.)

Las razones para hacer plantaciones forestales en las áreas altoandinas son varias, pero se puede resumirlas en dos: económica y ambiental. La justificación en la mayoría de los casos era dar una alternativa económica a la población local mientras se recupera o protege el suelo, se mantiene un balance hídrico positivo, se ayuda a la biodiversidad del área. (Hofstede, 2000)

En términos generales, las experiencias con especies nativas en la Sierra del Ecuador no han sido extensivas. Sin embargo las pocas experiencias existentes y las suposiciones lógicas indican que hay mucho menos riesgo de pérdida de humedad, de diversidad y que, por ser elementos naturales de la zona, ayudan a la regeneración natural.

La forestación con bosque nativo puede ser importante en la medida de que ayuda a proteger el suelo. Sin embargo, la idea de que la (re)forestación en el páramo con especies nativas ayudará a mantener los caudales en épocas de estiaje (como sí resulta en cuencas de media y baja montaña), es errónea. Lo anterior sin duda producirá efectos desconocidos, probablemente reduciendo la producción hídrica (Hofstede, 2000). Sin embargo evidencias contundentes no existen.

Una plantación de árboles en el páramo no va a incrementar la biomasa ni el contenido de carbono. Al contrario, la concentración de carbono en el suelo es principalmente debida a la calidad de la paja que tiene sílice y que forma agregados que no permiten una descomposición rápida del carbono. (Podwojewski, 2000).



5.8. Biodiversidad de los páramos

La biodiversidad comprende la variabilidad de organismos vivos (flora, fauna y microorganismos) de una región, ecosistema o agro ecosistema.

En ella se incluyen la diversidad genética dentro de las especies, la diversidad entre especies y la diversidad entre y dentro de ecosistemas y es el resultado de procesos evolutivos naturales, en interacción con procesos sociales y culturales propios de las comunidades locales. La biodiversidad constituye una de las riquezas naturales más importantes de un país y junto al agua y al suelo, son los tres recursos naturales básicos con los cuales se desarrollan las actividades agropecuarias (Josse et al., 2000).

La diversidad de los páramos está mejor caracterizada por la palabra “única” que por la palabra “riqueza”. A todos los niveles de la biodiversidad (genes, especies y paisajes) no hay más representantes en el páramo que en otras zonas de vida, pero lo característico es “lo que hay en el páramo, no se encuentra en ninguna otra parte” (Mena, 2001).

5.8.1. Flora

En términos del Ecuador, aún no se conoce el número exacto de especies de plantas que viven en los páramos del país, pero sugiere que son alrededor de 1.500 (Josse et al., 2000).

El páramo alberga muchas especies de plantas endémicas, adaptadas a las condiciones físico-químicas y climáticas específicas, tales como la baja presión atmosférica, radiación ultravioleta intensa y los efectos de secado por el viento (Luteyn, 1992).

Algunas de las características que las protegen de las condiciones climáticas extremas también han servido para protegerlas del fuego que hoy forma parte del régimen de la mayoría de páramos (Hofstede, 1995).



La vegetación consiste principalmente en pajonales, rosetas, arbustos pequeños y musgos (Mena y Medina, 2001).

Adicionalmente, las drásticas condiciones ambientales han moldeado la arquitectura y morfología de la mayoría de especies presentes en el páramo, dando como resultado cinco formas de vida principales, a las que se pueden asignar las especies dominantes del ecosistema; rosetas gigantes, macollas, rosetas acaules, cojines y arbustos esclerófilos (Hedberg y Hedberg, 2000).

Los penachos forman los pajonales, que son la vegetación más abundante, aunque no la única de los páramos. Aproximadamente un 70% de los páramos ecuatorianos son de este tipo (De Bièvre et al., 2012).

- **Penachos**

Pertenecen a la familia de las Poáceas dentro de varios géneros: *Stipa*, *Calamagrostis*, *Festuca* y *Cortaderia* y algunas Ciperáceas (*Rhynchospora*, *Carex*), entre otros.

Las hojas largas y delgadas forman los penachos y protegen a las hojas jóvenes que están creciendo en el interior. La protección es tanta que la temperatura nunca baja de cero grados en el interior (Hofstede, 1995).

La forma de las hojas es especialmente apropiada para no perder agua por transpiración en un sitio que carece de agua aprovechable durante varias horas al día. Las hojas muertas ayudan en la protección, mantienen los nutrimentos dentro de la estructura y forman un tipo de “suelo colgante” ya que se descomponen y fomentan el crecimiento de raíces que crecen adentro mientras la planta se desarrolla (Hofstede, 1995).



- **Almohadillas**

Varias especies han adoptado la forma de almohadillas o cojines especialmente, aunque no exclusivamente, en terrenos poco drenados. En ciertos páramos las almohadillas pueden cubrir varias hectáreas sin prácticamente dejar que otras formas de vida cubran parte del suelo. Algunas pueden tener una estructura muy rígida (Mena, 2001).

Generan un microclima menos frío en su interior, donde se protegen los órganos jóvenes de la planta. Hay varias especies que pueden ser citadas: *Azorella pendunculata* (Apiaceae), *Plantago rigida* (Plantaginaceae) y *Distichia muscoides* (Juncaceae).

- **Árboles enanos**

A pesar de que en páramos los pajonales dominan la visión, hay varias especies arbóreas que crecen a grandes altitudes y se encuentran aisladas o como parte de los remanentes boscosos en los páramos. El *Polylepis*, también como árbol de papeles, un árbol que alcanza mayores altitudes en las montañas. Hay árboles que crecen sin problema por encima de los 4000 m.s.n.m. El nombre *Polylepis* significa “muchas escamas” y se refiere a la corteza especial de estas plantas, cubiertas por escamas grandes y rojizas semejantes a papel.

Otros árboles típicos de las alturas andinas son el quishuar (*Buddleja incana*, Buddlejaceae y otras especies del género), el pumamaqui (varias especies dentro del género *Oreopanax* de las Araliáceas), el arrayán (*Myrcianthes* de las Mirtáceas), el cashco o encino (género *Weinmannia* de las Cunoniáceas) y la huagramanzana (género *Hesperomeles* de las rosáceas) (Mena, 2001).



5.8.2. Fauna

Cuando se trata de explicar el origen de la fauna en los páramos es necesario entender los factores que influyen los procesos de aparición y diversificación de la fauna paramera, que de acuerdo a lo planteado por (Mena y Medina, 2001) tienen que ver con:

- Las fluctuaciones climáticas, asociadas a los ciclos glacial-interglaciares.
- Las inmigraciones desde altitudes más bajas y,
- La invasión de especies de otras latitudes.

Los animales en los páramos también presentan importantes adaptaciones para guardar el calor, repeler el viento y la lluvia helada a través de pelajes densos y colores oscuros (Mena y Medina, 2001).

Entre los reptiles, tan solo el 6,8% de las especies habita en el piso altoandino. Por otro lado, en el caso de los anfibios se calcula que el 77% de las especies que están distribuidas en los pisos de mayor altitud son endémicas y muchas de ellas están en serio peligro de extinción. Altos niveles de endemismo se encuentran también entre los mamíferos; la mayor cantidad de especies con rangos restringidos al territorio ecuatoriano se concentran en el piso altoandino: de las 49 especies existentes en ese piso, 12 son endémicas. (Josse et al., 2000).

7. Aves

El grupo de vertebrados terrestres más diverso en el país también lo es en el páramo, el número total de aves en el páramo ecuatoriano es de 88, pero si se restringe este número a las especies que viven únicamente en los páramos del país, el número llega a 24 (Josse et al., 2000). En otras



palabras, un 70% de las aves que viven en los páramos también se encuentran en otras regiones bajas.

Entre los gavilanes y parientes vale la pena mencionar varios. El curiquingue (*Phalcoboenus carunculatus*) se alimenta de larvas e insectos y es común observarlo también en planicies (Black et al., 1983).

El típico pato de las alturas andinas es el pato de páramo (*Anas andium*), con colores cafés y negros, con partes inferiores blancas y alas que tienen un brillo metálico.

Una especie notable es el colibrí estrellita, que pertenece a la familia Trochilidae dentro del orden Apodiformes. Lleva el nombre de *Oreotrochilus chimborazo*.

8. Mamíferos

El oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) es el único oso verdadero que está en tierras latinoamericanas, habitan usualmente los bosques andinos pero visitan los páramos para alimentarse y para trasladarse dentro de sus extensos territorios (Cuesta, 2000).

Para los pequeños mamíferos el páramo ofrece gran cantidad de recursos (Rivera, 2001). Aquí especies como el borugo (*Agouti taczanowskii*) y el conejo de páramo (*Sylvilagus brasiliensis*) encuentran protección entre los pajonales y las rocas

Hay tres especies de venados en el páramo: el de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el soche o cervicabra (*Mazama rufina*) y el ciervo enano (*Pudu mephistophiles*). Todos ellos son fácilmente diferenciables por el tamaño (de mayor a menor respectivamente). El venado de cola blanca está distribuido en toda América (Tirria, 1999).



El lobo de páramo (*Pseudalopex culpaeus*) es uno de los más grandes perros silvestres que viven en el Ecuador.

Entre los felinos (familia Félidos) cabe destacar que en raras ocasiones es posible ver al puma (*Puma concolor*), que es el carnívoro terrestre más grande de estos lugares.

Hay otros felinos menores como el gato del pajonal (*Oncifelis colocolo*), que se alimenta de roedores y aves pequeñas (Tirria, 1999).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en los flancos occidentales de la cordillera de los andes, en la República del Ecuador, provincia del Azuay, Cantón Cuenca, parroquia Baños y Chaucha, sector Cancán, en la parte alta de la subcuenca del río Yanuncay y sus aguas drenan a la cuenca del río Paute.

Ubicada aproximadamente a 30 km al Sur-Oeste de la ciudad de Cuenca dentro de las áreas protegidas por ETAPA EP (Cancán – Sigsihuyco). Dentro de la Cuenca del río Sigsihuyco se seleccionó la quebrada Cuevas, la cual tiene un tamaño aproximado de 5 km². (Figura 1). Dentro de una gradiente altitudinal que va desde los 3000 a 3900 m.s.n.m.

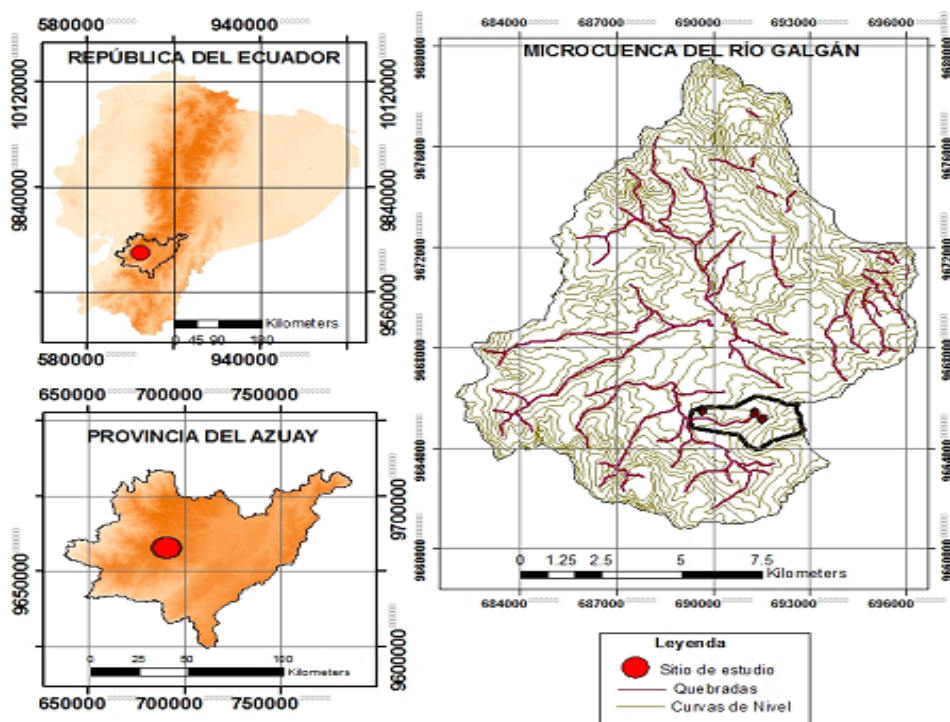


Figura 1. Mapa de ubicación de la Microcuenca del Río Sigsihuyco-quebrada Cuevas

Fuente: Asanza y Barahona, 2014

7.2. Descripción del área de estudio

7.2.1. Formación y desarrollo del suelo en depósitos de ceniza volcánica en los páramos de Can-can – Sigsihuyco

Se han desarrollado sobre materiales piro clástico (cenizas volcánicas) de naturaleza eólica y en pequeña escala sobre materiales arcillosos producto de la meteorización. La topografía del relieve ha determinado la existencia de un horizonte casi continuo de ceniza volcánica que está en función directa de su altitud; conforme se desciende este horizonte de suelo presenta una asociación edáfica con arcillas como Kaolinita y montmorillonita. (Verdugo, 2006.)

Los principales minerales primarios en tefras volcánicas frescas consisten principalmente de vidrio volcánico, plagioclase, cuarzo, piroxenas y otros



minerales. Los suelos en los páramos del Sur del Ecuador están formados sobre depósitos de ceniza volcánica, el cual contiene como el mineral más abundante al vidrio volcánico. Este mineral se caracteriza por la rápida alteración o meteorización química dando como resultado la formación de complejos aluminosilicatos – orgánicos y/o la formación de minerales amorfos poco cristalizados como las alófanas y la imogolita. (Schubert y Clapperton, 1990)

Dos episodios grandes de caída de ceniza han marcado el desarrollo de diferentes tipos de suelo en el Ecuador. Capas de ceniza recientes (< 10000 años) con un espesor relativamente constante cubren la superficie de los relieves y dan forma a los paisajes (Winckell et al., 1991). Al Sur de Cuenca, estas cenizas aparecen sobre los 3250 m de altitud (Schubert y Clapperton, 1990) y forman los suelos de un medio ambiente de páramo. Mientras que los suelos debajo de los 3250 m de altitud se desarrollan sobre capas de ceniza más antiguas (> 10000 años) (Hall y Mothes, 1994).

7.2.2. La geología en la zona de estudio (Cancán – Sigsihwayco)

La formación Quimsacocha ocurre en el margen SE del área y se extiende hacia el S dentro de la hoja geológica adyacente, donde se toma su nombre del edificio volcánico erosionado de Quimsacocha. Consiste de lavas y brechas andesíticas que buzan radialmente hacia afuera de la caldera de Quimsacocha. Las rocas son de color gris-verde oscuro y porfiríticas con microfenocristales de plagioclasa y anfíbol acicular. La formación sobre yace discordantemente al Grupo Saraguro y la formación Turi. Su edad exacta en el Mioceno es incierta.



7.2.3. Clima de la zona de estudio (Cancán – Sigsihuayco)

En el Ecuador las partes altas de las cordilleras y el callejón interandino tienen un régimen de precipitación ecuatorial del hemisferio sur. Significa que se presentan dos picos de precipitación (uno de febrero hasta mayo y el segundo en octubre hasta diciembre), provocados por el movimiento del CIT (zona de convergencia intertropical) sobre el país. La principal estación seca se presenta desde junio hasta agosto, el invierno austral. (Verdugo, 2006)

El segundo período seco se presenta a fines de diciembre-enero (veranillo del Niño). Los datos de precipitación promedio anual registrado por la estación pluviográfica de Soldados de la Red Hidrometeorológica de ETAPA es 883 mm. (Verdugo, 2006)

La baja temperatura y su gran variación diurna en comparación con la variación estacional, son las características más destacadas de todos los climas de altas montañas tropicales. El clima de la zona se clasifica como Muy húmedo-Sub temperado-Región 14. En cuanto a la temperatura presente en la zona, como máxima tenemos 18°C durante el día y como mínima 1°C durante la noche. (Verdugo, 2006)

En forma general se puede indicar en lo referente al clima que este es frío y húmedo, destacándose la presencia de neblina y nubosidad. Con características propias de la zona se puede mencionar con frecuencia días con llovizna y lluvias en el periodo de invierno y en verano existen fuertes vientos y heladas. (Verdugo, 2006)

La clasificación de Zona de Vida de esta región según Holdridge corresponde a bmhM (bosque muy húmedo -Montano).

La falta de información climatológica de la zona no ha permitido realizar una caracterización climática real, sin embargo la extrapolación de



información con los mapas climáticos ha permitido identificar y realizar zonificaciones de áreas homogéneas de lluvia. Con este análisis se ha determinado una precipitación media mensual que fluctúa entre 69.57 y 79.16 mm., la temperatura va desde 8.12 a 9.65 °C., siendo el mayor limitante para el normal desarrollo de cultivos. (Verdugo, 2006).

7.2.4. Tipos de suelo en la zona (Cancán– Sigsihuayco)

Según (Verdugo, V. 2006) Los análisis físico químico de muestras de suelo tomadas en el área de estudio Cancán señalan que su coloración negra se debe a su 30% de contenido de materia orgánica, el pH es de 4.4, saturación de bases menor al 50%, densidad aparente mayor a 0.85 g/cc y retención de agua a pF3 entre 100 y 200% con relación a su peso seco. Su clasificación taxonómica según la *World Reference Base* corresponde a Andosoles e Histosoles con asociaciones edáficas importantes hacia las partes bajas.

El Andosol es el tipo de suelo predominante en las áreas de páramo. Diferentes factores afectan la formación y desarrollo de los Andosoles. Las propiedades mineralógicas, químicas y físicas de los suelos asociadas al clima (precipitación y temperatura) y la vegetación son los factores preponderantes en la génesis de los Andosoles. De acuerdo a los parámetros mineralógico y químico tres tipos de Andosoles se pueden distinguir en el Ecuador desde el menos evolucionado (Andosol Víttrico), intermedio (Andosol Alofánico) hasta el más evolucionado (Andosol no Alofánico). Los suelos al Sur de Cuenca han sido reportados como Andosoles no Alofánicos (Podwojewski y Poulenard, 2000; Poulenard et al., 2003;).

7.2.5. Vegetación en la zona de estudio (Cancán – Sigsihuayco)

Según el estudio realizado por (Verdugo, 2006). En el sector de Cancán fueron registradas 68 especies de plantas pertenecientes a 39 géneros y



28 familias. La familia más diversa es Asteraceae con catorce especies, Gentianaceae con ocho especies, Scrophulariaceae con cinco especies y finalmente están Poaceae, Fabaceae y Valerianaceae con tres especies cada una, el restante número de familias están representadas por una o dos especies. Los géneros más diversos presentes en este lugar son *Gentianella* y *Plantago* con cuatro especies, *Bartsia*, *Halenia*, *Lupinus*, *Oritrophium*, *Ranunculus* y *Valeriana* con tres especies, el resto de géneros presentes se caracteriza por tener una o dos especies.

En general Cancán es el sitio menos diverso entre los tres páramos muestreados y el más intervenido antrópicamente. A pesar de esto existe una pequeña diferencia en el número de especies. En este sitio existe una mayor presencia del género *Plantago* sp., que es indicador de perturbación de hábitats, como también el género *Uncinia* (Cyperaceae) que es una especie que no está presente en el PNC.

Florísticamente si lo comparamos con el PNC éste sitio presenta leves patrones en composición como por ejemplo las familias Asteraceae y Gentianaceae son las más diversas en los dos sitios, los géneros *Gentianella*, *Bartsia*, *Halenia* y *Oritrophium* los más diversos, aunque aquí *Plantago* es uno de los más diversos siendo indicador de perturbación, lo que no sucede en el Cajas que no es muy rico en esta especie. (Verdugo, 2006)

7.3. Metodología para la toma de datos y diseño de muestreo

7.3.1. Identificación de los sitios de estudio dentro de la Microcuenca Rio Sigsihuayco-quebrada Cueva

La metodología utilizada se basó en las catenas ya que los estudios de suelo y en especial del desarrollo y formación del suelo las catenas son metodologías aceptadas a nivel internacional. (Porta et al., 2003 y



Huggeth, 2007). Las características para considerarse una catena fueron las siguientes:

- ✓ **Geología:** material parental, en nuestro estudio ceniza volcánica.
- ✓ **Clima:** temperatura, humedad, precipitación etc.
- ✓ **Topografía:** posición fisiográfica (Convexa, lineal y cóncava) y pendiente.

En nuestra zona de estudio cada catena presenta las mismas características ya sea de topografía, clima y geología, por lo tanto la metodología es aplicable, en cada catena se determinaron diferentes tipos de vegetación

La selección de las catenas se hizo para los tres tipos de vegetación: Paramo de pajonal, Paramo herbáceo con almohadillas y Bosque de Polylepis. ETAPA en base al análisis de imagen satelital del 2006 y con verificación de campo en el año 2010, determinó la cobertura vegetal de la zona del Cancán, el 99.2% se halla cubierto por páramo, un 0.6% por bosque de *Polylepis*. Se seleccionó esta área para comparar como el desarrollo del suelo puede estar afectado por los diferentes tipos de vegetación **Figura 2.** Páramo de pajonal (Pj) y el Páramo herbáceo compuesto por Almohadillas (PHA) y el Bosque de Polylepis (BP).



(PJ)

(PHA)

(BP).

Figura 2. Tipos de Vegetación

Fuente: Asanza y Barahona, 2014

7.4. Tipos de Cobertura vegetal.

7.4.1. Paramo de Pajonal (PJ)

En cada sitio se realizó una caracterización **ANEXO 4**. La especie predominante es la paja (*Calamagrotis intermedia*) (J. Prest Steud) y la grama blanca (*Paspalum bonplandianum*) (Flogge) en menor cantidad, la cobertura del suelo es relativamente antropizadas, en este tipo de vegetación se realizaron 3 catenas ubicadas en la parte convexa, lineal y cóncava respectivamente, con una pendiente entre el 13 y 25 %, según interpretación de la FAO se las describe como moderadamente escarpado, se realizaron y describieron 9 calicatas. En total se describieron 29 horizontes donde se analizaron las propiedades físicas, hidrofísicas y químicas

7.4.2. Paramo Herbáceo con Almohadillas (PHA).

En cada sitio se realizó una caracterización **ANEXO 4**. Las especies predominantes son la Grama Blanca (*Paspalum bonplandium*) (Flogge), Plantago (*Plantago rigida*) (*Huperzia crassa*, presenta características similares al paramo de pajonal,



En este tipo de vegetación se realizaron 2 catenas ubicadas en la parte convexa, lineal y cóncava respectivamente, con una pendiente entre el 13 y 25 %, según interpretación de la FAO se las describe como moderadamente escarpado, se realizaron y describieron 6 calicatas. En total se describieron 17 horizontes donde se analizaron las propiedades físicas, hidrofísicas y químicas

7.4.3. Bosque de *Polylepis* (Pha).

En cada sitio se realizó una caracterización **ANEXO 4**. Las especies predominantes son el árbol de papel (*Polylepis reticulata*) Kunth, tucshi hembra (*Gynoxys miniphilla*) (Cuatrec) en este tipo de vegetación se realizó 1 catena ya que el bosque de *Polylepis* su uso es limitado está ubicada en la parte convexa, lineal y cóncava respectivamente, con una pendiente entre el 13 y 25 %, según interpretación de la FAO se las describe como moderadamente escarpado, se realizaron 3 calicatas. En total se describieron 10 horizontes donde se analizaron las propiedades físicas hidrofísicas y químicas.

7.5. Actividades Antrópicas

En lo concerniente con las actividades antrópicas debemos mencionar que no se pudo encontrar información del historial de la zona, y no se sabe si las quemadas han sido fuertes, controladas o frecuentes. Por tal motivo no se conoce con exactitud el grado de alteración del sobrepastoreo y las quemadas en la formación y desarrollo del suelo en los diferentes tipos de vegetación, pero vale mencionar que la zona del Cancán ha sido una zona en donde la empresa pública ETAPA las ha caracterizado como un área donde se ha dado un uso intensivo de la tierra refiriéndose a las quemadas y al sobrepastoreo (actividades antrópicas).



7.6. Ubicación y descripción de los perfiles del suelo (Calicatas)

Materiales

- Cámara fotográfica
- Barreno manual
- Pala de desfonde
- Cinta métrica
- Cuchillo de suelos
- Etiquetas
- Adhesivos para identificar muestras y horizontes
- Clinómetro
- Lupa
- Libreta de campo

7.6.1. Ubicación de las calicatas

Para la ubicación de las calicatas primero se realizó un reconocimiento del terreno para la determinación de los principales tipos de cobertura vegetal y tipos de suelo (Bosque de Polylepis (BP), Paramo de pajonal (PJ) y paramo herbáceo con almohadillas (PHA). Mediante la utilización de un barreno de suelos se sondeó en diferentes posiciones topográficas para la identificación de los suelos predominantes. El siguiente paso fue la ubicación de las calicatas, las cuales se ubicaron en lugares de fácil accesibilidad y representativos. Se realizaron 6 catenas de suelo, para cada catena se realizaron 3 calicatas ubicadas en la parte convexa, linear y cóncava de la pendiente o ladera, La distancia entre calicata fue entre 80m aproximadamente. Los puntos de referencia se tomaron con GPS

ANEXO 2.

Las dimensiones de las calicatas fue de 1m de ancho x 1m de largo y de fondo (dependió de la profundidad del horizonte C o saprofito)



En total se realizaron 18 calicatas, de las cuales tres se ubicaron en el bosque de *Polylepis*, nueve en el pajonal o páramo degradado y seis en sitios cubiertos por paramo herbáceo con almohadillas.

Para la descripción de las calicatas o perfiles se utilizó el formulario de información del PROMAS **ANEXO 3**, el cual permitió recopilar la información respectiva de cada una de ellas.

7.6.2. Descripción de las calicatas

Una vez realizada la calicata, se colocó una cinta métrica sobre el perfil de suelo frontal (en dirección de la pendiente hacia abajo) esto permitió distinguir los diferentes horizontes de estudio y clasificación, para cada horizonte se tomó aproximadamente 2 kg de suelo y se las colocó en fundas plásticas, registradas según su código. Posteriormente se colocó un anillo Kopecky en él para tomar muestras, el cual se introduce en forma horizontal en dirección de cada uno de los horizontes identificados en la calicata de estudio, esto se realizó con la ayuda de un martillo de goma, los bordes se limpiaron con una espátula edafológica teniendo cuidado de no compactar el suelo. Se selló herméticamente el cilindro para que no pierda humedad.

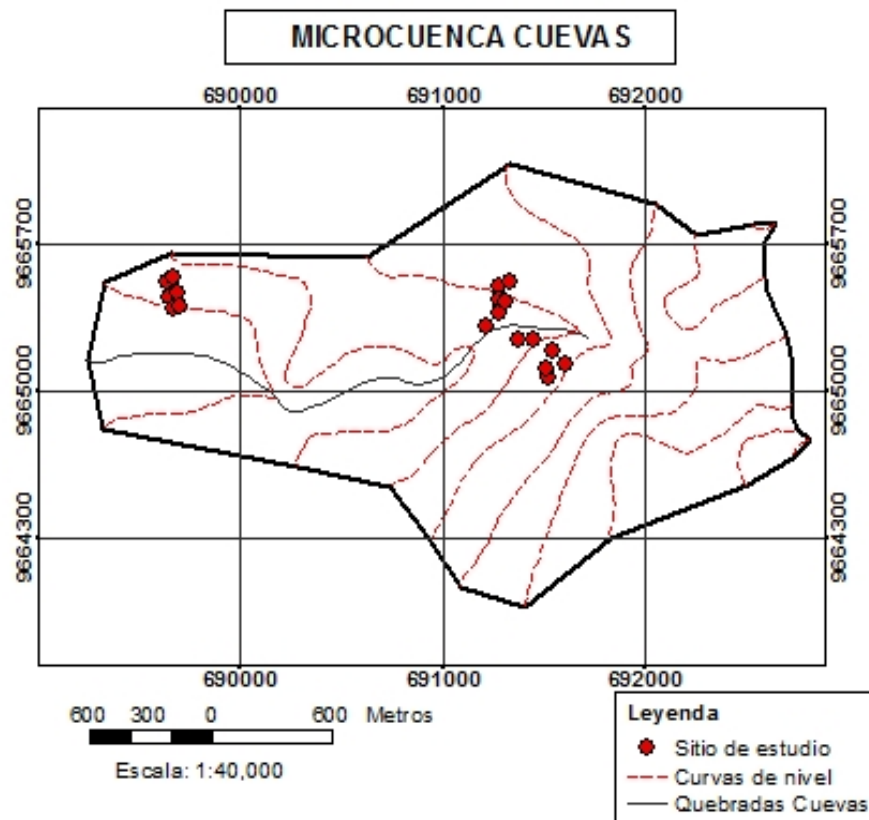


Figura 3. Mapa de Ubicación de las 18 calicatas (6 catenas) en la zona de estudio (Microcuenca del Río Sigsihuayco-quebrada Cuevas)

Fuente: Asanza y Barahona, 2014.

7.7. Análisis estadísticos para identificación del efecto en las propiedades químicas y físicas de suelos de ceniza volcánica

Los datos de las propiedades físicas y químicas de los 56 horizontes del suelo agrupados en 6 catenas bajo los diferentes tipos de cobertura vegetal fueron analizados para determinar el desarrollo y formación del suelo en la zona estudiada. Para el análisis estadístico **ANEXO 5**. Se utilizó el software Statistica 7, en el cual se realizó el análisis de correlación de Pearson para caracterizar el suelo, determinar la relación o dependencia entre dos variables, posteriormente se realizó gráficos de caja o box plots para dividir la base de datos en tres grupos diferentes en



relación a los tres tipos de cobertura vegetal. Los grupos comprenden sitios alterados cubiertos con páramo de pajonal (Pj) y páramo herbáceo con almohadillas (Pha) y sitios inalterados compuesto por bosques de *Polylepis* (Bp). finalmente se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar el grado de significancia entre los grupos o patrones,

Las variables físicas escogidas para el análisis del perfil del suelo fueron: (BD) Densidad aparente

Las variables químicas fueron: pH (H₂O), H, Na, Ca, K, Mg, Fe, Mn, Al, CEC, Sat.B, C, N, Alo, Alp, Feo, Fep, Sio.

7.8. Determinación de las propiedades físico-químicas de los suelos derivados de ceniza volcánica

Las propiedades físicas se determinaron en campo y en laboratorio las que corresponden a densidad aparente. Los equipos y la metodología se encuentran en el **ANEXO 6**.

7.8.1. Densidad aparente

Luego de obtener las muestras en el campo, en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca; se pesó cada Kopecky, liga y papel filtro luego se dejó saturar con agua por 24 horas, después de ese tiempo transcurrido se pesó el suelo saturado; posteriormente se las colocó en la estufa a una temperatura de 105°C por 24 horas. Se volvió a pesar los Kopeckys con el suelo seco y por último se pesó cada anillo de Kopecky. **Figura 4**. Para obtener la densidad aparente se aplicó la siguiente fórmula: Calculando la diferencia entre el peso saturado y peso de la muestra seco, para el peso anillo Kopecky.

$$DA = \frac{(\text{Peso seco de la muestra} + \text{anillo}) - (\text{peso del anillo})}{\text{Volumen del anillo}}$$



Figura 4. Obtención de la densidad aparente (D.A)

Fuente: Asanza y Barahona, 2014

7.8.2. Determinación de las propiedades químicas

Una vez tomadas las muestras en el campo, se las llevó al laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca. Donde se procedió a secar las muestras de suelo al aire libre utilizando bandejas de aluminio, el tiempo aproximado de secado fue de 15 días. Una vez secadas las muestras y con la ayuda de un mortero se procedió a moler el suelo, se tamizó con un tamiz de 2 mm de tamaño del orificio. Las muestras de la fracción fina obtenidas fueron colocadas en fundas plásticas pequeñas con un peso de 100 g. Las cuales se enviaron al laboratorio de Ciencias del Suelo de Ecosistemas Tropicales y Subtropicales de la Universidad de Gottingen en Alemania para los análisis químicos.

En donde se analizaron las siguientes propiedades químicas: pH (H₂O), H, Na, Ca, K, Mg, Fe, Mn, Al, CEC, Sat.B, C, N, Alo, Alp, Feo, Fep, Sio.

- ✓ **Carbón (C) y Nitrógeno (N) orgánico:** las muestras fueron secadas al aire utilizando un analizador elemental CNS (Elementar Vario EL, Hanau, Germany).
- ✓ **pH (H₂O y KCL):** el pH del suelo se midió con una mezcla de pasta saturada (1:1 proporción de suelo/H₂O).



- ✓ **CIC (capacidad de intercambio catiónico):** las muestras se determinó del suelo percollado con 1 mol/L NH_4Cl , y esta solución se analizó para el intercambio catiónico utilizando a ICP-EAS (análisis de espectrómetro de emisión atómica).
- ✓ **Base de saturación:** se estimó como el porcentaje de la base de cationes del CIC.
- ✓ **Al y Fe amorfo, y Si:** la determinación del Al y Fe por la utilización de la extracción del ácido Oxalato. Mientras que el Si, Al y Fe por la extracción del ácido Pirofosfato. Estos extractos fueron analizados con ICP-AES (análisis de espectrómetro de emisión atómica).
- ✓ **Al y Fe determinación por oxalato de extracción**

Solución 1: Se pesó 16,2 g de oxalato de amonio $(\text{COONH}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y 10,8 g de ácido oxálico $(\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en un litro de agua des ionizada destilada. El pH de la solución debe ser de 3 de lo contrario es necesario ajustar el pH a 3 con cualquiera de los productos químicos.

Solución 2: se disolvió Superfloc 100 mg en 50 ml de H_2O bioestilada. Se agito durante la noche en la oscuridad. Posteriormente se procedió a envolver en papel de aluminio (Solución se puede conservar durante 1 semana en ambiente oscuro).

- ✓ **Al y Fe determinación por pirofosfato extracción**

Solución 1: Pirofosfato de sodio 0,1M $(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ (44,6 g) en o agua destilada y diluido a 1 litro.

Volumen necesario. 3,2 litros=3,5 litros.

Solución 2: Se pesó 100 mg Superfloc en 50 ml de agua destilada doble. Se sacudió o revolvió la solución (solución al 0,2 %) en un ambiente



oscuro durante la noche. (La solución se puede conservar durante 1 semana en ambiente oscuro). Volumen requerido: 100 ml. Los equipos y procedimientos se encuentran en el **ANEXO 7**.

8. RESULTADOS Y DISCUSION

Tabla 1. Resultados de análisis de correlación lineal (Pearson) para todas las variables analizadas.

	pH	H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	CEC	B. Sat	C	N	B.D	WC	Alo	Feo	Sio	Alp	Fep
	H ₂ O	cmol/K	cmol/K	cmol/K	cmol/K	cmol/K	cmol/K	cmol/K	cmol/K	cmol/K	%	g/Kg	g/Kg	g/cm ³	%	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg
pH H ₂ O	1,00																			
H cmol/Kg	-0,70	1,00																		
Na cmol/Kg	0,51	-0,28	1,00																	
K cmol/Kg	0,10	0,30	0,47	1,00																
Ca cmol/Kg	0,55	-0,33	0,70	0,49	1,00															
Mg cmol/Kg	0,55	-0,19	0,57	0,51	0,73	1,00														
Fe cmol/Kg	-0,52	0,61	0,03	0,63	-0,05	-0,03	1,00													
Mn cmol/Kg	-0,09	0,10	0,18	0,24	0,24	0,27	-0,05	1,00												
Al cmol/Kg	-0,67	0,68	-0,38	0,15	-0,51	-0,40	0,55	-0,10	1,00											
CEC cmol/Kg	-0,03	0,32	0,41	0,72	0,58	0,48	0,49	0,19	0,39	1,00										
B. Sat %	0,69	-0,42	0,69	0,37	0,83	0,72	-0,22	0,27	-0,73	0,22	1,00									
C g/Kg	-0,35	0,67	0,05	0,54	0,02	0,04	0,54	0,10	0,63	0,62	-0,25	1,00								
N g/Kg	-0,34	0,65	0,12	0,58	0,12	0,11	0,57	0,20	0,50	0,62	-0,15	0,97	1,00							
B.D g/cm ³	0,26	-0,50	-0,10	-0,48	0,02	-0,05	-0,47	-0,05	-0,52	-0,49	0,20	-0,85	-0,82	1,00						
WC %	-0,07	0,35	0,10	0,38	-0,06	0,04	0,29	-0,08	0,48	0,41	-0,22	0,80	0,69	-0,83	1,00					
Alo g/Kg	-0,32	0,20	-0,17	-0,04	-0,37	-0,33	0,17	-0,13	0,54	0,11	-0,59	0,55	0,44	-0,56	0,67	1,00				
Feo g/Kg	-0,27	0,24	0,28	0,28	0,15	0,07	0,34	0,51	0,14	0,30	0,09	0,27	0,32	-0,26	0,10	0,12	1,00			
Sio g/Kg	0,03	0,24	0,00	-0,06	0,04	0,08	-0,05	0,05	-0,15	-0,09	0,17	-0,01	0,03	0,12	-0,11	-0,15	-0,18	1,00		
Alp g/Kg	-0,34	0,30	-0,10	0,07	-0,22	-0,27	0,21	-0,03	0,58	0,29	-0,46	0,62	0,53	-0,63	0,68	0,87	0,22	-0,15	1,00	
Fep g/Kg	-0,51	0,44	-0,05	0,25	-0,17	-0,20	0,51	0,20	0,52	0,31	-0,38	0,57	0,58	-0,55	0,40	0,59	0,62	-0,25	0,72	1,00

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.



8.1. Análisis de correlación de (Pearson) para las propiedades físicas del suelo

Los resultados de la correlación lineal de Pearson nos indican que la B.D (Densidad Aparente) tiene una correlación fuerte pero inversa con el C ($r = -0.85$) y con el N ($r = -0.82$). **Tabla 1.** Lo que nos indica que el aumento de la D.A estará influenciado por la disminución del contenido de N y C en el suelo

Los resultados para el WC% (porcentaje de humedad en el suelo), tiene una correlación fuerte y directa con el C ($r = 0.80$) y una correlación fuerte pero inversa con la D.A ($r = -0.83$). **Tabla 1.** Lo que nos indica que el aumento de los espacios porosos en el suelo se debe a la disminución de la D.A y al aumento del C (carbono orgánico).

8.2. Análisis de correlación para las propiedades químicas del suelo

Los resultados de correlación lineal indican que el pH está fuertemente correlacionado con el H ($r = -0,70$), mientras que los cationes a excepción del K y Mg están moderadamente correlacionados con valores de r entre 0,51 y 0,55. Por otro lado, el Al muestra una correlación relativamente fuerte con el pH con un valor de $r = -0,67$, mientras el Fe presenta una correlación moderada de $r = -0,52$. Estos resultados podrían sugerir que la acidez del suelo es un resultado del incremento de los iones H y la disminución de los cationes intercambiables, al mismo tiempo el Al y Fe intercambiables aumentan con la disminución del pH. **Tabla 1.**

La correlación entre los cationes (Ca, Mg, Na y K) es relativamente fuerte particularmente entre el Ca y el Na ($r = 0,70$) y el Ca con el Mg ($r = 0,73$). Los incrementos del Ca son correspondidos con incrementos de Na y K. Al ser los cationes los productores de la meteorización química entonces



en un suelo fuertemente meteorizado la disponibilidad de estos elementos es baja. **Tabla 1.**

La capacidad de intercambio catiónico (CEC) es fuertemente correlacionada con el K ($r = 0,72$), moderadamente correlacionada con el Ca ($r = 0,58$) y ligeramente correlacionada con el Na y Mg ($r = 0,41$ y $0,48$ respectivamente). **Tabla 1.** Este resultado indica que la CEC es dependiente en mayor medida de las variaciones en K y Ca.

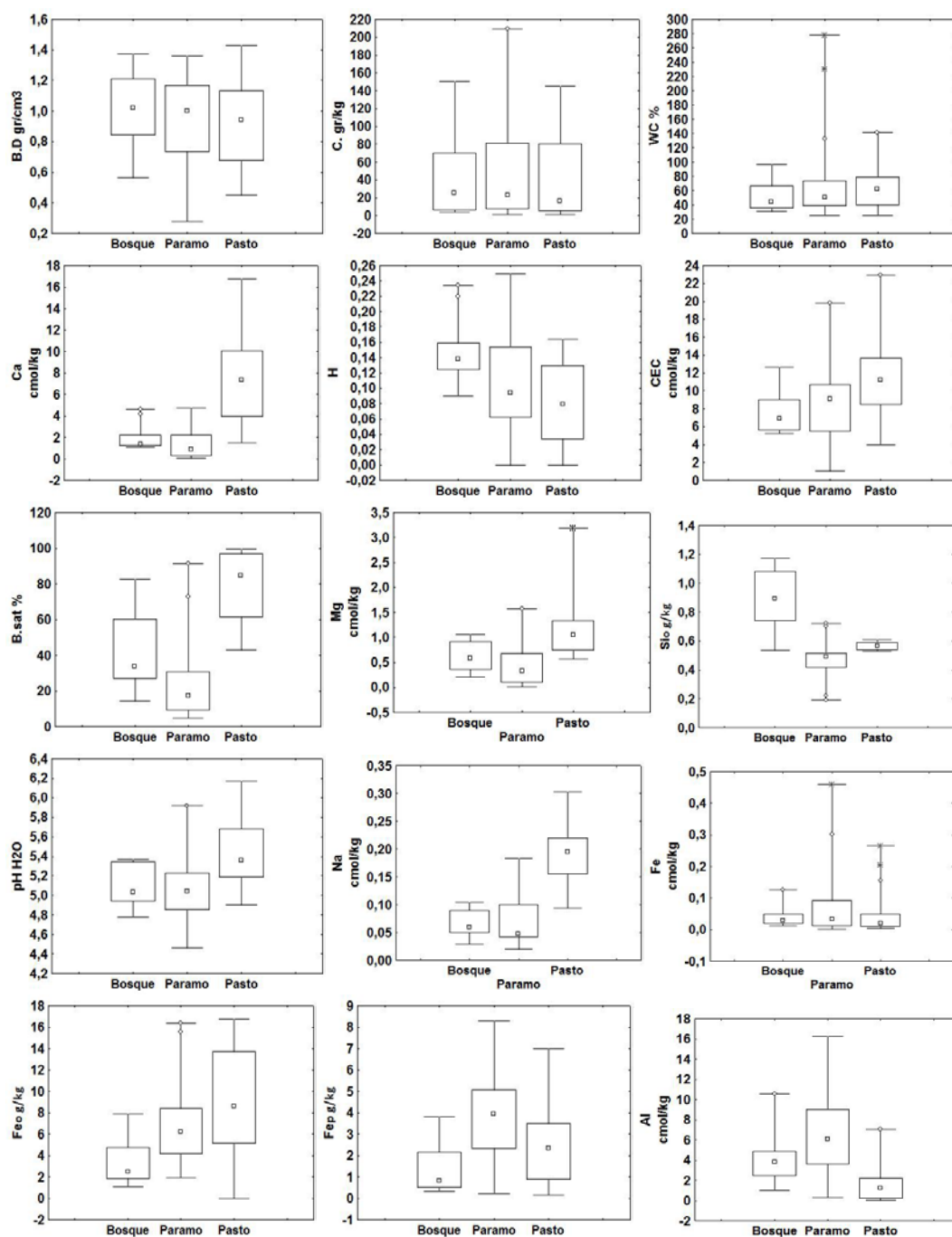
El carbón orgánico C es relativamente bien correlacionado con el H ($r = 0,67$), Fe ($r = 0,54$) y Al ($r = 0,63$). **Tabla 1.** Estos resultados sugieren que los suelos son ácidos y están dominados por los complejos aluminio – orgánicos.

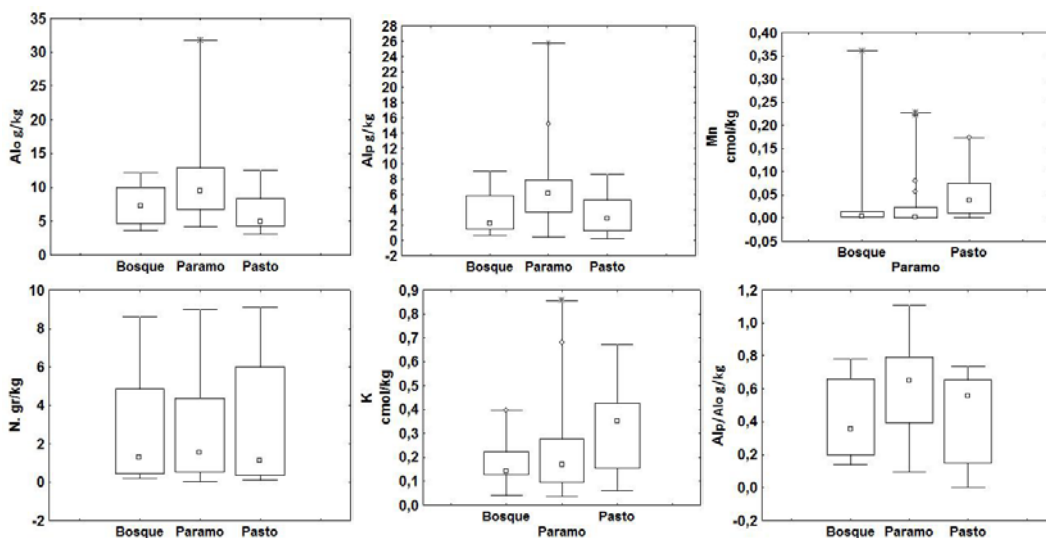
El carbón orgánico es fuertemente correlacionado con la densidad aparente ($B. D \text{ g/cm}^3$) ($r = -0,85$) y con la humedad del suelo (WC %) ($r = 0,80$). **Tabla 1.** Estos resultados indican que los cambios en la densidad aparente y la humedad del suelo están principalmente controlados por el contenido de carbón orgánico (C), esta característica es muy típica en suelos desarrollados sobre ceniza volcánica como son los Andosoles.

Con respecto a los resultados de las extracciones de Al, Fe y Si por oxalato y pirofosfato. El Alo está relativamente bien correlacionado con el Al intercambiable ($r = 0,54$) y el carbón orgánico C ($r = 0,55$). **Tabla 1.** Mientras que el Alp presenta una correlación relativamente fuerte con el Al ($r = 0,58$) y con el carbón orgánico C ($r = 0,62$). **Tabla 1.** Estos resultados sugieren que el Al tanto en la forma intercambiable como en la fracción final del suelo ($< 2 \text{ mm}$) están asociados a la materia orgánica sugiriendo que los suelos están compuestos predominantemente por complejos orgánicos – aluminicos.

El Fep presenta una correlación moderada con el carbón orgánico C ($r = 0,57$) y con el Fe intercambiable ($r = 0,51$). **Tabla 1.** Esto es una indicación que la materia orgánica también está formando complejos con Fe pero su predominancia es generalmente menor a la del Al.

8.3. Box plot de las propiedades físicas y químicas de los suelos derivados de ceniza volcánica





Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

El pH **Figura 5**. Muestra diferencias altamente significativas entre los grupos. En general el bosque de *Polylepis* (BP) y el páramo de pajonal (PJ) tienen el mismo comportamiento con valores de pH comprendidos entre 4,9 y 5,3 respectivamente. Pero esto contrasta con el páramo herbáceo con almohadillas (PHA) el cual sigue otra tendencia y por lo tanto difiere de los otros dos grupos por tener valores de pH entre 5,2 y 5,7.

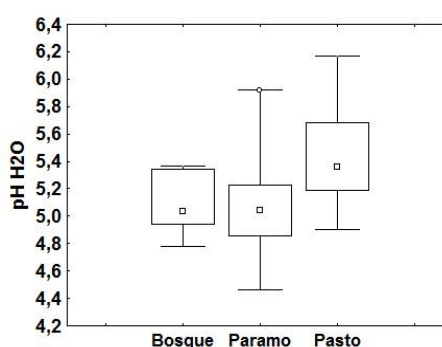


Figura 5. Boxplot pH H₂O

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

El Na **Figura 6**. También muestra diferencias altamente significativas entre grupos. En general el bosque de *Polylepis* (BP) y el páramo de

pajonal (PJ) tienen el mismo comportamiento con valores bajos en Na entre 0,04 y 0,09 (cmol/kg). En cambio los valores de Na en el PHA son más altos comprendidos entre 0,15 a 0,22 (cmol/kg) de Na por lo que tiene un comportamiento diferente a los dos grupos.

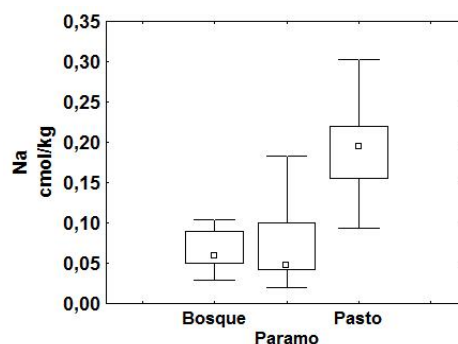


Figura 6. Boxplot Na (cmol/kg)

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

El Ca **Figura 7.** Muestra diferencias altamente significativas entre los grupos de estudio. Para los datos de los dos grupos BP y PJ son valores bajos de Ca comprendidos entre 1 y 2 (cmol/kg) por lo que se deduce que tienen el mismo comportamiento, pero esto no sucede con los valores de Ca en el grupo PHA ya que tiene valores mayores de Ca comprendidos entre 4 y 10 (cmol/kg) teniendo un comportamiento totalmente diferente a los dos grupos anteriores.

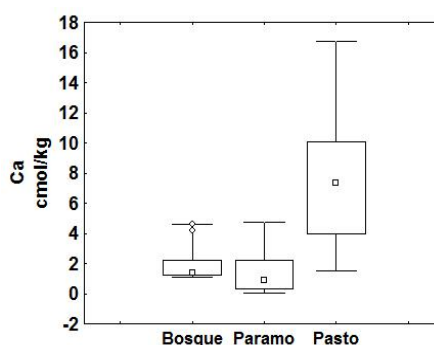


Figura 7. Boxplot Ca (cmol/kg)

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

El Mg **Figura 8.** Muestra diferencias altamente significativas entre los grupos de estudio los valores de Mg entre los grupos BP y PJ son bajos comprendidos entre 0,01 y 0,09 (cmol/kg) se supone que su comportamiento es similar ya que no hay mucha diferencia entre ellos, pero esto no sucede con los valores del grupo PHA ya que tiene valores más altos de Mg comprendidos entre 0,08 y 1,4 (cmol/kg) deduciendo que este grupo es diferente a los otros dos.

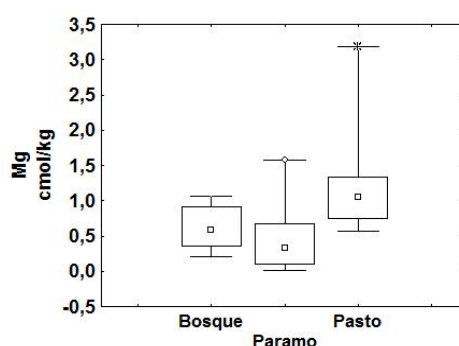


Figura 8. Boxplot Mg (cmol/kg)

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

El Al intercambiable **Figura 9.** Presenta diferencias significativas entre los tres grupos, sugiriendo que el Al se comporta diferente para cada grupo de análisis. Con valores intermedios de Al para el BP comprendidos entre 2 y 5 (cmol/kg), para el PJ valores altos entre 3 y 9 (cmol/kg) y para el PHA valores inferiores de 0 y 2 (cmol/kg).

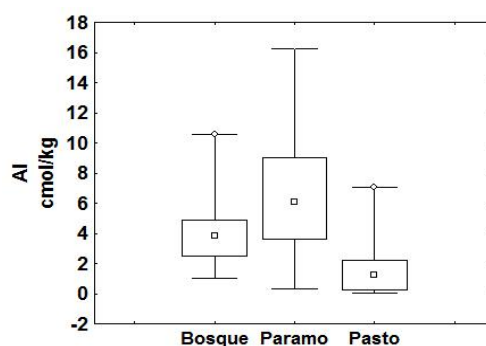


Figura 9. Boxplot Al (cmol/kg)

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

El Fe **Figura 10**. No muestra diferencias entre los grupos, por lo tanto su comportamiento es similar con valores comprendidos entre: para BP 0,03 y 0,05 (cmol/kg) para PJ 0,02 y 0,08 (cmol/kg) y para PHA 0,01 y 0,05 (cmol/kg).

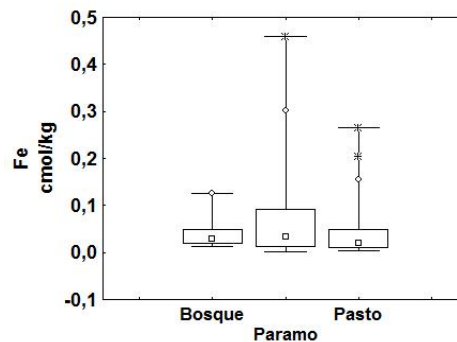


Figura 10. Boxplot Fe (g/kg)

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

El Sio **Figura 11**. Presenta diferencias entre los tres tipos de vegetación, pero existe una marcada diferencia entre el bosque de *Polylepis* (BP) con valores de Sio de 0,5 y 1,15 (g/kg) y los otros dos (PJ y PHA) con valores de Sio de 0,4 y 0,5 (g/kg) para el PJ y valores de 0,59 y 0,6 para PHA, sugiriendo que el BP tiene un comportamiento completamente diferente.

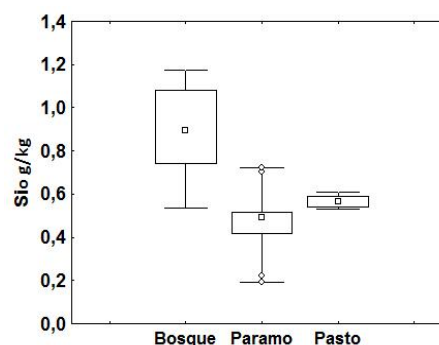


Figura 11. Boxplot Sio (g/kg)

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

Los resultados de diagramas de caja (Boxplot) nos indican que existen dos patrones o tendencias, aparentemente el páramo de pajonal (PJ) y el Bosque de Polylepis (BP) tienen el mismo comportamiento y se podría sugerir que se puede agrupar en un solo grupo (1), ya que no tienen tendencias significativas. En cambio los resultados para el Páramo Herbáceo con Almohadillas (PHA) nos muestran un comportamiento distinto, por lo tanto se interpretará que este grupo es diferente (2).

8.4. Análisis de variancia (ANOVA)

Tabla 2. Diferencias en las propiedades del suelo entre el páramo de pajonal, bosque de *Polylepis* (1) y el páramo herbáceo con almohadillas (2)

Variabes	Tipos de vegetación
pH H ₂ O	***
H cmol/Kg	*
Na cmol/Kg	***
K cmol/Kg	*
Ca cmol/Kg	***
Mg cmol/Kg	
Fe cmol/Kg	
Mn cmol/Kg	
Al cmol/Kg	***
CEC cmol/Kg	
B. Sat %	***
C g/Kg	
N g/Kg	
B.D g/cm ³	
WC %	
Alo g/Kg	*
Feo g/Kg	**
Sio g/Kg	***
Alp g/Kg	*
Fep g/Kg	**

* = Ligeramente significativo < .05
** = Moderadamente significativo < .01
*** = Altamente significativo < .001
= No significativo > (0.05)

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

Los resultados del Análisis de variancia (ANOVA) muestran tres grados de significación para los dos grupos:

El pH, Na, Ca, Al, B.Sat%, y el Sio son altamente significativos (***).



Por otro lado el Feo y el Fep son moderadamente significativos (**).

Mientras el H, K, Alo y Alp son ligeramente significativos (*).

El resto de variables Fe, Mn, CEC, C, N, BD, y WC% no presentan ningún grado de significancia ()

8.5. Cuantificación y análisis de parámetros físicos y químicos de suelos derivados de ceniza volcánica

8.5.1. Parámetros físicos de suelos derivados de ceniza volcánica.

Los resultados de las principales propiedades físicas de los Andosoles en el área de estudio (**Tabla 3-4-5**). La densidad aparente varió desde 0.3 gr/cm³ hasta 1.4 gr/cm³, con un promedio de 0.9 ± 0.3 gr/cm³. La DA en los suelos estudiados presenta características que identifican suelos con características ándicas ya que poseen una densidad promedio inferior a 0.9 g cm⁻³, y se encuentran dentro de los rangos presentados en estudios cercanos a la zona de estudio (Borja et al., 2008; Buytaert, 2004b; Quichimbo et al., 2012, Podwojewski y Poulenard, 2004).

Mientras que el carbono orgánico varió desde 1 gr/kg hasta 209 gr/kg, con un promedio de 45.4 ± 49 gr/kg. Se encontró una fuerte relación negativa entre la densidad aparente y el carbón orgánico de $r = (-0.85)$ **Tabla 1**. Esta relación indica que la Da disminuye cuando el carbón orgánico aumenta **Figura 12**.

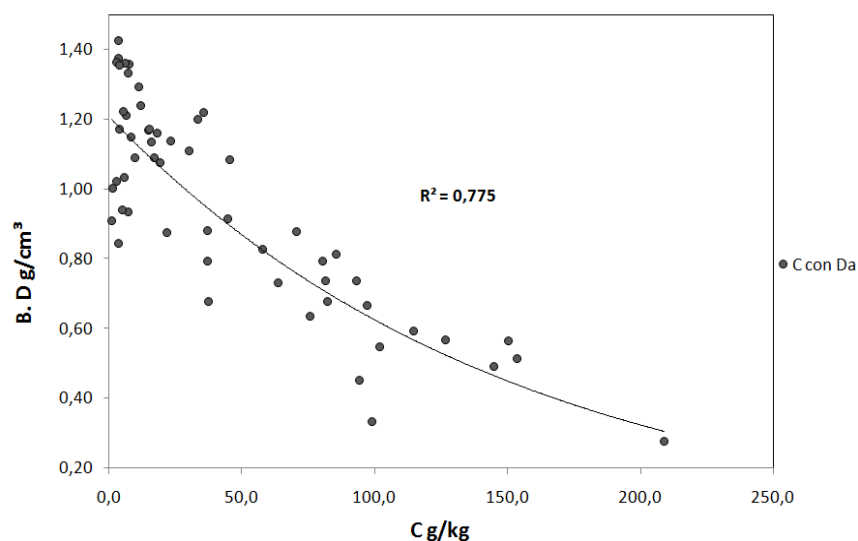


Figura 12. Relación entre el C g/kg y la B. D g/cm³

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

Los análisis muestran claramente que los horizontes superficiales tienen casi en su totalidad un valor de la densidad aparente menor a 0.9 gr/cm³

Figura 12. Estos resultados resaltan que los valores bajos de la densidad aparente se debe en gran medida a la alta porosidad causada por las estructuras de los agregados bien desarrolladas y que están formadas de complejos aluminicos-orgánicos. **Tabla 1** muestra que el carbón orgánico es moderadamente correlacionado con el Alp con un valor de $r = 0,62$.

Tabla 1. La densidad aparente (Da) exhibe una fuerte correlación con el contenido de humedad del suelo. **Figura 12.** Muestra que el contenido de humedad del suelo aumenta cuando la densidad aparente disminuye. Este resultado indica que el alto contenido de humedad del suelo es una función de la porosidad como resultado de la densidad aparente baja. Al aumentar la porosidad del suelo más espacios están disponibles para almacenar agua, este proceso está directamente enlazado con la cantidad de materia orgánica en el suelo. Esta interpretación está apoyada por la alta correlación encontrada entre el carbón orgánico y el contenido de humedad del suelo (WC %) $r = 0,80$ **Tabla 1.**

Los resultados y análisis encontrados de las propiedades físicas indican que el perfil del suelo está claramente diferenciado por dos estratos y que existe un gran contraste entre ellos, particularmente en los contenidos de carbón orgánico y los valores de la densidad aparente. **Figura 12 y 13.** Grandes cantidades de carbón orgánico se almacenan en los estratos superficiales (generalmente el horizonte A) con valores bajos de la densidad aparente ($< 0.9 \text{ gr/cm}^3$) y altas tasas de humedad del suelo. En cambio el estrato inferior consiste principalmente de material de regolito en proceso de meteorización química. Esta estrato presenta valores de la densidad aparente altos ($> 0.9 \text{ gr/cm}^3$) y cantidades de carbón orgánico bajos.

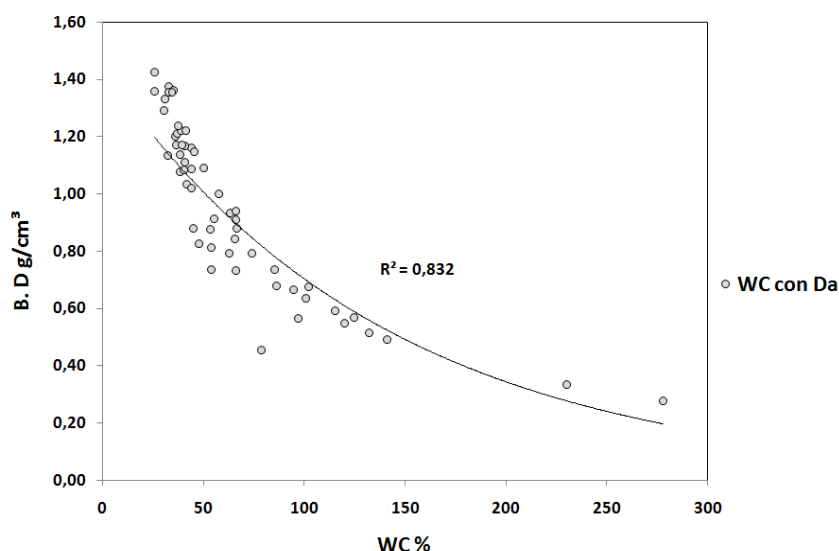


Figura 13. Relación entre el WC% y B. D g/cm^3

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

Tabla 3. Resultados de la D.A. Carbón orgánico y contenido de Humedad de los Andosoles del área de estudio para el Bosque de Polylepis (Bp)

Nombre	Horizonte	Altura cm	Da g/cm^3	C g/kg	Cont. Humed. %
BP2 Alto	A	5-35	0,88	70,5	45
	AC	35-55	1,2	33,5	36

	C	55-80	1,21	6,3	37
BP2 Medio	A	5-45	0,67	97	95
	AC	45-60	1,16	18,1	44
	C	60-90	1,38	3,6	33
	C	60-90	1,38	3,6	33
BP2 Bajo	A1	7-55	0,57	150,4	97
	A2	55-80	0,88	37,1	67
	CA	80-100	1,33	7,2	31
	C	100-120	0,84	3,6	66

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

Tabla 4. Resultados de la D.A. Carbón orgánico y contenido de Humedad de los Andosoles del área de estudio para el páramo de pajonal (PJ)

Nombre	Horizonte	Altura cm	Da g/cm ³	C g/kg	Cont. Humed %
PJ2 Alto	A	5-42	0,68	82,1	86
	AC	42-70	0,92	44,7	55
	CA	70-90	1,17	14,8	41
	C	>90	1,22	5,2	39
PJ2 Medio	A	5-45	0,73	63,5	66
	AC	45-70	1,11	30,1	41
	CA	70-105	1,24	12	37
	C	>105	1,03	5,8	42
PJ2 Bajo	A	5-50	0,63	75,5	101
	AC	50-80	1,09	17,1	50
	C	>80	1	1,2	58
PJ3 Alto	A1	5-50	0,28	209	278
	A2	50-70	0,33	98,9	230
	C	>70	0,88	21,7	53
PJ3 Medio	A1	5-45	0,51	153,7	132
	A2	45-65	0,74	81,4	85
	C	>65	1,36	7,5	33
PJ3 Bajo	A	5-35	0,55	101,8	120
	AC	35-50	0,79	37,1	74
	C	50-90	1,36	2,9	35
PJ5 Alto	A	3-40	0,83	57,9	48
	CA	40-65	1,17	15,1	36
	C	65-90	1,17	3,8	39

PJ5 Medio	A	3-42	0,81	85,6	54
	AC	42-60	1,08	19,1	38
	C	60-80	1,15	8,2	45
PJ5 Bajo	A	3-40	0,74	93	54
	CA	40-55	1,14	23,1	38
	C	55-70	1,36	6,1	26

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

Tabla 5. Resultados de la D.A. Carbón orgánico y contenido de Humedad de los Andosoles del área de estudio para el páramo herbáceo de almohadillas (PHA)

Nombre	Horizonte	Altura cm	Da g/cm ³	C g/kg	Cont. Humed %
PHA2 Alto	A	3-38	0,49	145	141
	C	38-75	0,91	1,1	66
PHA2 Medio	A	5-30	0,59	114,5	115
	AC	30-45	0,68	37,5	102
	C	>45	0,93	7,3	63
PHA2 Bajo	A	5-30	0,57	126,8	125
	AC	30-45	1,22	35,4	41
	C	>45	0,94	5	66
PHA4 Alto	A	3-30	1,08	45,5	40
	CA	30-46	1,09	9,8	44
	C	46-70	1,02	2,7	44
PHA4 Medio	A	3-30	0,79	80,5	63
	CA	30-45	1,29	11,2	31
	C	45-62	1,35	3,8	34
PHA4 Bajo	A	3-30	0,45	94,3	79
	CA	30-44	1,14	16	32



	C	44-60	1,43	3,4	26
--	---	-------	------	-----	----

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

8.5.2. Parámetros químicas de suelos derivados de ceniza volcánica

Los resultados de las propiedades químicas del suelo para el pH nos indican valores que varían desde 4.5 y 5.4, estos suelos se consideran muy fuertemente ácido (pH de 4,5 – 5,0) y fuertemente ácido (pH de 5,1 – 5,5) (Porta et al., 2003).

Los resultados de los análisis químicos indican que los cationes como el Na, Ca y Mg han sido liberados por efectos de la meteorización química y que luego han sido removidos del suelo por lixiviación a través del agua de percolación o por consumo de las plantas (Porta et al., 2003).. Mientras los cationes son agotados del suelo en cambio los iones de H aumentan resultando en un suelo más ácido. Este resultado confirma la acidez de los suelos como resultado de la baja disponibilidad de cationes y la disponibilidad alta de H. Como consecuencia de la baja disponibilidad de los cationes básicos, el Al y el Fe encuentran poca competencia para ocupar los sitios de intercambio catiónico por lo tanto el Al y Fe se vuelven

intercambiables con los iones de H. Particularmente el Al al volverse intercambiable produce que los suelos contengan altas cantidades de Al y por esta razón los Andosoles de esta parte del país son tóxicos en Al.

El análisis de los resultados descritos anteriormente muestra que los principales productos de la meteorización química son los complejos aluminio-orgánicos mientras que la formación de alófanos es muy débil o simplemente no existe. Una de las causas para que no se formen alófanos en este tipo de Andosoles es debido a la acidez del suelo, cuando el pH baja de 5 el suministro de cationes básicos baja considerablemente o prácticamente cesa y la producción de ácidos orgánicos sobrepasa al suministro de cationes, por lo tanto el Al y Fe forma complejos con los ácidos orgánicos dejando poco o nada de Al disponible para coprecipitar con el Si, así la formación de alófanos es evitada. Otra causa que podría explicar la formación limitada de alófanos o su inexistencia es el contenido bajo de Si. **Tabla 6-7-8.**

Este elemento está casi desprovisto en estos suelos como resultado de la fuerte meteorización química y el fuerte lavado de los suelos posteriormente, como consecuencia menos Si puede coprecipitar con él Al y Fe.

Tabla 6. Resultados de las propiedades químicas de los Andosoles del área de estudio para el Bosque de *Polylepis* (Bp)

Nombre	Horizonte	pH H ₂ O	CEC cmol/kg	Al cmol/kg	Fe cmol/kg	Ca cmol/kg	Mg cmol/kg	Na cmol/kg	K cmol/kg	H cmol/kg	Sio g/kg	Al _o cmol/kg	Fe _o cmol/kg	Al _p cmol/kg	Fe _p cmol/kg	Al _p /Al _o g/kg
BP2 Alto	A	5,1	9,2	2,52	0,02	4,6	1,06	0,1	0,4	0,13	0,86	7,68	7,88	5,76	3,81	0,8
	AC	4,8	7,42	4,76	0,13	1,96	0,2	0,09	0,13	0,14	1,1	8,84	4,74	1,57	0,74	0,2
	C	5,3	5,26	3,3	0,02	1,18	0,52	0,09	0,04	0,1	1,17	9,98	1,6	1,98	0,52	0,2
BP2 Medio	A	4,9	12,7	10,6	0,05	1,25	0,34	0,06	0,15	0,22	0,81	12,2	3,67	8,05	2,15	0,7
	AC	5,1	7,35	4,91	0,04	1,44	0,68	0,05	0,11	0,12	1,01	6,47	2,26	2,47	0,89	0,4
	C	5,4	5,63	2,08	0,02	2,19	0,99	0,07	0,14	0,13	1,08	4,66	2,25	0,66	0,52	0,1

BP2 Bajo	A1	5	6,35	4,37	0,02	1,08	0,36	0,03	0,24	0,23	0,93	11,51	5,26	9,03	3,71	0,8
	A2	4,8	8,98	6,65	0,08	1,36	0,54	0,06	0,13	0,16	0,53	6,87	2,79	4,1	1,59	0,6
	CA	5	5,37	3,06	0,04	1,3	0,62	0,05	0,16	0,14	0,74	4,5	1,9	1,48	0,64	0,3
	C	5,4	6,49	1,04	0,01	4,16	0,92	0,05	0,22	0,09	0,6	3,57	1,08	0,99	0,35	0,3

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

Tabla 7. Resultados de las propiedades químicas de los Andosoles del área de estudio para páramo de pajonal (Pj)

Nombre	Horizonte	pH H ₂ O	CEC cmol/kg	Al cmol/kg	Fe cmol/kg	Ca cmol/kg	Mg cmol/kg	Na cmol/kg	K cmol/kg	H cmol/kg	Sio g/kg	Al ₂ O ₃ cmol/kg	Fe ₂ O ₃ cmol/kg	Al ₂ SiO ₅ cmol/kg	Fep cmol/kg	Alp/Al ₂ O ₃ g/kg
PJ2 Alto	A	4,9	10,7	9,14	0,14	0,56	0,36	0,05	0,27	0,16	0,7	13,77	7,52	9,51	5,01	0,7
	AC	4,9	7,96	7,33	0,05	0,2	0,13	0,04	0,09	0,09	0,72	16,59	6,89	15,2	6,03	0,9
	CA	5,1	3,77	3,55	0,02	0,07	0,04	0,02	0,04	0,04	0,19	15,83	4,26	5,17	3,99	0,3
	C	5,4	2,61	2,33	0	0,12	0,05	0,04	0,04	0,04	0,22	12,03	2,98	2,41	2,34	0,2
PJ2 Medio	A	4,5	12,3	8,74	0,06	2,64	0,33	0,04	0,27	0,15	0,34	10,52	9,6	7,91	5,07	0,8
	AC	4,9	6,72	6,2	0,05	0,18	0,1	0,02	0,08	0,09	0,38	12,05	8,27	6,66	4,43	0,6
	CA	5	5,49	5,08	0,01	0,15	0,07	0,05	0,06	0,07	0,51	6,27	4,01	3,64	2,49	0,6
	C	5,2	4,02	3,61	0	0,13	0,07	0,05	0,08	0,06	0,52	9,3	6,55	2,24	1,39	0,2
PJ2 Bajo	A	4,9	10,6	9,05	0,17	0,55	0,27	0,03	0,33	0,14	0,54	11,69	8,49	7,34	4,32	0,6
	AC	5,2	6,37	4,86	0,03	0,9	0,32	0,04	0,11	0,1	0,53	8,52	3,81	3,98	1,37	0,5
	C	5,9	4,06	0,32	0	2,21	0,99	0,14	0,38	0,02	0,51	4,66	2,83	0,44	0,22	0,1
PJ3 Alto	A1	5,2	19,8	16,2	0,18	1,7	0,7	0,1	0,68	0,22	0,53	16,41	6,32	12,2	3,96	0,7
	A2	5,3	5,66	4,59	0,03	0,63	0,08	0,15	0,12	0,05	0,48	31,77	10,1	25,8	8,15	0,8

	C	5,3	1,03	0,7	0,02	0,14	0,01	0,05	0,11	0	0,46	0	0	5,61	5,97	0
PJ3 Medio	A1	4,8	15,5	13,5	0,07	1,06	0,31	0,04	0,31	0,2	0,42	17,04	6,14	13,3	4,28	0,8
	A2	4,9	15,1	13,5	0,09	0,94	0,14	0,18	0,16	0,09	0,44	16,8	5,81	11,1	3,21	0,7
	C	5	5,2	4,55	0,01	0,36	0,07	0,04	0,13	0,04	0,39	9,75	5,81	5,3	2,57	0,5
PJ3 Bajo	A	4,9	9,46	7,85	0,16	0,69	0,28	0,04	0,28	0,16	0,41	8,57	4,27	6,85	2,33	0,8
	AC	4,8	8,48	7,65	0,11	0,35	0,13	0,04	0,08	0,12	0,42	5,59	1,91	3,74	0,99	0,7
	C	5,3	3,88	2,48	0,01	0,79	0,4	0,05	0,06	0,09	0,41	4,53	1,91	0,71	0,28	0,2
PJ5 Alto	A	5	12,5	9,13	0,03	1,95	0,67	0,03	0,3	0,16	0,46	8,64	15,6	7,53	5,15	0,9
	CA	4,8	10,3	4,92	0,01	3,58	1,13	0,08	0,22	0,09	0,49	7,19	11	4,63	2,87	0,6
	C	5,8	9,11	2,38	0	4,72	1,58	0,1	0,23	0,06	0,53	4,16	7,11	0,8	0,77	0,2
PJ5 Medio	A	4,5	17,1	11,3	0,46	2,99	1,1	0,12	0,86	0,25	0,49	9,99	13,9	6,7	6,32	0,7
	AC	5,2	10,1	7,2	0,05	1,95	0,54	0,08	0,13	0,12	0,49	7,38	4,08	8,18	4,46	1,1
	C	5,3	9,6	6,05	0,02	2,39	0,7	0,14	0,21	0,09	0,5	7,62	4,3	7,11	2,33	0,9
PJ5 Bajo	A	4,5	13,3	10,5	0,3	1,56	0,33	0,1	0,3	0,16	0,51	9,75	16,4	6,17	8,31	0,6
	CA	5,1	8,64	4,91	0,07	2,63	0,58	0,1	0,17	0,14	0,51	5,17	8,13	5,16	5,5	1
	C	5,2	9,28	3,64	0,02	4,15	0,96	0,18	0,19	0,12	0,53	5,04	5,04	1,59	2,19	0,3

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

Tabla 8. Resultados de las propiedades químicas de los Andosoles del área de estudio para páramo herbáceo de almohadillas (Pha)

Nombre	Horizonte	pH H ₂ O	CEC cmol/kg	Al cmol/kg	Fe cmol/kg	Ca cmol/kg	Mg cmol/kg	Na cmol/kg	K cmol/kg	H cmol/kg	Sio g/kg	Al ₂ O ₃ cmol/kg	Fe ₂ O ₃ cmol/kg	Al ₂ SiO ₅ cmol/kg	Fep cmol/kg	Alp/Al ₂ O ₃ g/kg
PHA2 Alto	A	5,6	22,9	2	0,04	16,7	3,19	0,24	0,53	0,08	0,53	12,57	5,15	8,65	2,35	0,7
	C	6,2	11,2	0,05	0	7,34	3,18	0,18	0,42	0	0,53	4,98	0	0,31	0,24	0,1
PHA2 Medio	A	5,4	11,2	4,05	0,1	4,56	1,43	0,25	0,47	0,16	0,53	8,36	16,71	5,27	7,01	0,6
	AC	5,2	7,43	4,1	0,01	2,22	0,72	0,16	0,06	0,1	0,54	9,83	15,71	6,51	4,24	0,7
	C	5,4	5,36	2,23	0,03	1,55	0,74	0,3	0,35	0,08	0,53	8,16	10,43	0,19	0,17	0
PHA2 Bajo	A	5,2	13,4	7,05	0,27	3,94	1,22	0,22	0,54	0,16	0,54	10,31	9,35	7,02	4,52	0,7
	AC	5,1	8,73	4,16	0,03	2,97	1,16	0,16	0,1	0,13	0,55	8,97	8,18	5,26	2,53	0,6
	C	5,3	4	1,25	0,02	1,54	0,84	0,09	0,16	0,09	0,56	5,6	3,97	1,55	0,89	0,3



PHA4 Alto	A	5,5	10,4	0,28	0,05	8,97	0,56	0,21	0,3	0,03	0,57	4,04	3,97	1,27	1,35	0,3
	CA	5,8	13,7	0,19	0,01	11,9	0,86	0,28	0,39	0,03	0,58	4,81	4,98	8,63	2,87	0
	C	6,1	11,5	0,14	0	10,1	0,72	0,2	0,34	0,02	0,57	3,13	5,34	1,29	0,66	0,4
PHA4 Medio	A	5,1	13,7	1,91	0,2	9,49	1,03	0,16	0,67	0,13	0,59	4,9	6,67	2,72	3,51	0,6
	CA	5,3	11,9	0,64	0,02	9,43	1,16	0,2	0,25	0,07	0,59	4,27	11,09	0,57	0,97	0,1
	C	5,9	16,7	0,17	0,01	14,1	1,81	0,19	0,37	0,02	0,58	4,36	8,63	0,66	0,4	0,2
PHA4 Bajo	A	5	14,7	2,23	0,15	10,2	1,34	0,22	0,43	0,15	0,6	7,13	14,7	4,57	5,17	0,6
	CA	4,9	7,21	1,25	0,02	4,72	0,69	0,14	0,11	0,11	0,6	4,18	15,56	3,08	3,02	0,7
	C	5,7	8,5	0,4	0	6,7	1,04	0,11	0,14	0,05	0,61	4,4	13,71	2,87	1,33	0,7

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

8.6. Determinación del grado de alteración de los suelos volcánicos (Andosoles) basados en mediciones de minerales poco cristalizados (alófana e imogolita) y complejos alumino – orgánicos

La formación de los Andosoles resulta esencialmente de la rápida meteorización del material parental de granos finos (constituido de vidrio volcánico) y de la presencia de materia orgánica. Dependiendo del estado de humedad del suelo, los cationes básicos (Ca, Mg, Na, K) se liberan y son lixiviados del suelo a través del agua de percolación mientras que el Al y el Fe se encuentran fuertemente enlazados en complejos estables con la materia orgánica (Mizota y vanReeuwijk, 1989).

Debido a la competitividad para la formación de alófanas y de los complejos alumino-orgánicos, los Andosoles se analizan según la

composición binaria química-mineralógica (Mizota y vanReeuwijk, 1989). La composición binaria puede ser interpretada conjuntamente entre el grado de pH del suelo y la proporción binaria del Alp/Alo (Alp = aluminio extraído por pirofosfato, Alo = aluminio extraído por oxalato). Minerales secundarios no amorfos como las alófanas dominan con valores de pH superiores a 5 hasta condiciones neutrales, mientras que los complejos alumino-orgánicos dominan en condiciones acidas con valores de pH inferiores a 5. Por otro lado, las estimaciones de la proporción de Alp/Alo varían de 0 a 1. Valores de 0 se interpretan como suelos de composición puramente alofánica y valores de 1 como suelos de composición puramente de complejos alumino-orgánicos. De acuerdo a la interpretación de la composición binaria podríamos esperar que en suelos altamente meteorizados los valores de la proporción binaria (Alp/Alo) se aproxime a 1 y que el pH sea inferior a 5. **Figura 14.**

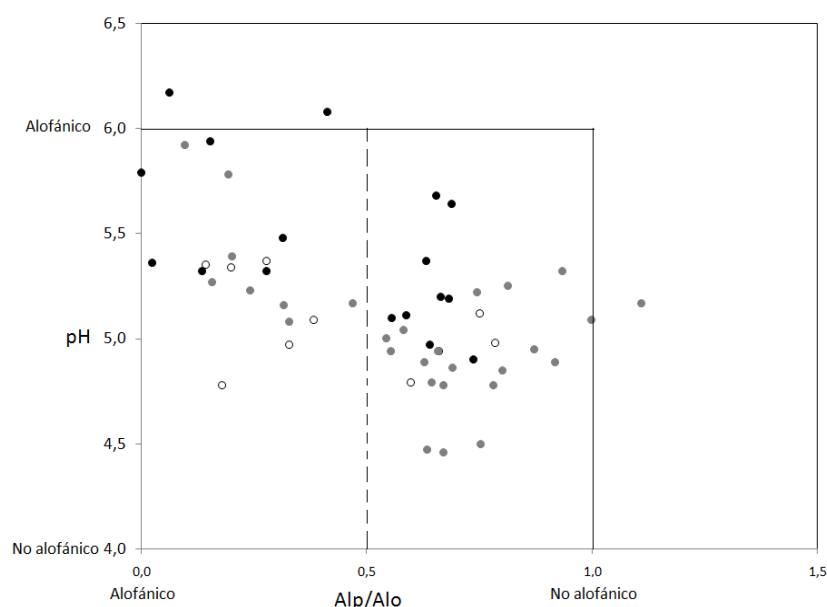


Figura 14. Esquema de la composición binaria perfil completo

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

En este estudio se ha evaluado el grado de evolución de los Andosoles, los cuales constituyen el principal tipo de suelo en los páramos al Sur de

Cuenca. Hemos utilizado la composición binaria para examinar el estado actual del desarrollo del suelo. Adicionalmente se analizó la influencia de la vegetación sobre el grado de desarrollo de los Andosoles. La Figura 25 muestra la relación entre el pH y la tasa de Alp/Alo de todos los horizontes analizados bajo los diferentes tipos de vegetación. Generalmente se observa una tendencia a la disminución del pH mientras la tasa del Alp/Alo aumenta. Podríamos decir que aproximadamente la mitad de los horizontes cumplen las condiciones para ser Andosoles alofánicos (silandosol) y la otra mitad podría considerarse un Andosol no alofánico (aluandosol). Sin embargo analizando solamente los horizontes A. **Ver figura 15**, se puede observar que la mayoría de los datos presentan valores de pH inferiores a 5 y que la tasa de Alp/Alo se encuentra entre el rango de 0.5 a 1.0 con excepción de cuatro horizontes. Estos resultados demuestran que los Andosoles desarrollados sobre depósitos de ceniza volcánica en el Sur del país están en una etapa avanzada de formación del suelo y concuerdan con otras investigaciones que reportan los mismos resultados (Podwojewski y Poulenard, 2000).

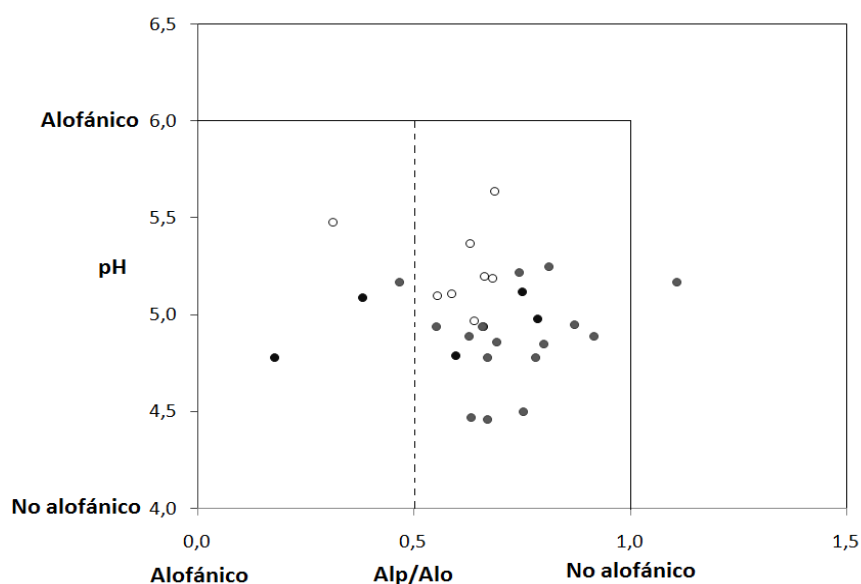


Figura 15. Esquema de la composición binaria horizonte A

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.



De acuerdo a los resultados de los análisis de la composición binaria, los Andosoles del páramo al Sur de Cuenca son los más evolucionados por lo tanto fuertemente meteorizados. Los resultados de los análisis de los cationes básicos intercambiables muestran que el Ca, Mg, Na y K están presentes pero en bajas proporciones, mientras el Al presentan proporciones elevadas que en algunos casos representan más del 90% de la capacidad de intercambio catiónico CIC. **Tabla 6-7-8.**

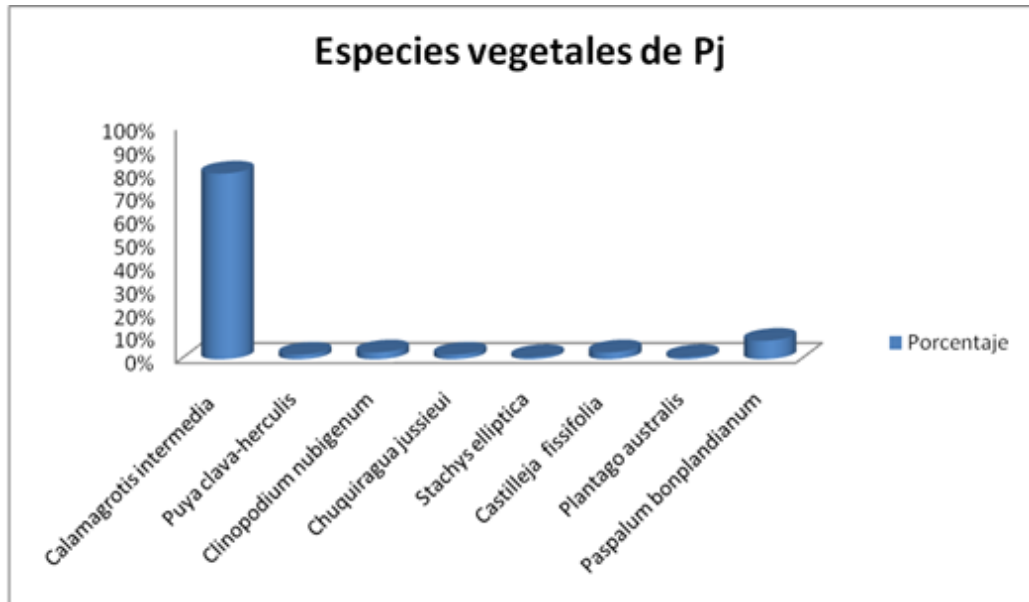
8.7. Efecto del tipo de cobertura vegetal en las propiedades físicas y químicas de suelos de ceniza volcánica.

8.7.1. Tipos de cobertura vegetal

✓ Paramo de pajonal (PJ) .

En el páramo de pajonal la especie predominante es la paja (*Calamagrotis intermedia*) con un 80%, seguida de la grama blanca (*Paspalum bonplandianum*) con un 8%, el tipo (*Clinopodium nubigenum*) y la lancetilla (*Castilleja fissifolia*) con un 3%, el Aguarongo (*Puya clava-herculis*) y la chuquiragua (*Chuquiragua jussieui*) con el 2% y la sachalantén (*Plantago australis*) con el 1%. **GRAFICO 1.** Estos resultados están basados en Guía de 100 plantas silvestres del páramo del Parque Nacional Cajas

GRAFICO 1. Porcentaje de vegetación en el páramo de pajonal

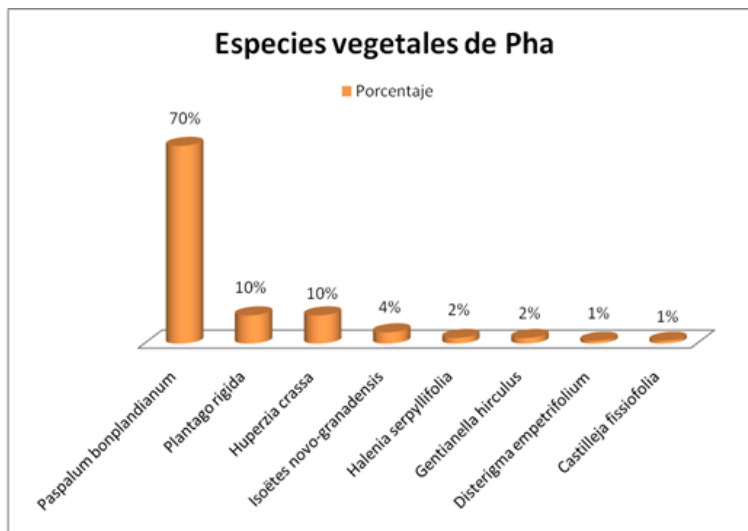


Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

✓ Páramo Herbáceo con Almohadillas

La especie predominante es la Grama Blanca *Paspalum bonplandianum* con un 70%, seguida del Colchón del pobre (*Plantago rigida*) y Deditos (*Huperzia crassa*) con un 10%, el Isoetes *Isoëtes novo-granadensi* con un 4%, el Cacho de venado (*Halenia serpyllifolia*) y globito (*Gentianella hirculus*) con el 2% y el Nigua (*Disterigma empetrifolium*) y Lancetillas (*Castilleja fissifolia*) con el 1% **GRAFICO 2**. Estos resultados están basados en Guía de 100 plantas silvestres del páramo del Parque Nacional Cajas

GRAFICO 2. Porcentaje de vegetación en el páramo herbáceo con Almohadillas

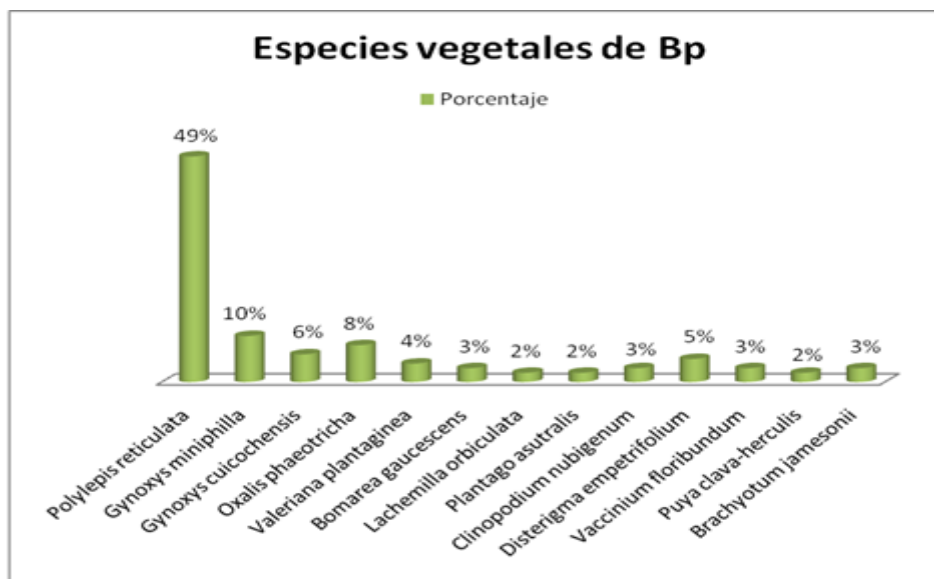


Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

✓ Bosque de *Polylepis*

En el Bosque de *Polypepis* la especie predominante es el (*Polylepis reticulata*) con un 49%, seguida del Tucshi hembra (*Gynoxys miniphilla*) con un 10%, la Oca agria (*Oxalis phaeotricha*) con un 8% el Tucshi macho (*Gynoxys cuicochensis*) con un 6% , la Nigua (*Disterigma empetrifolium*) con un 5%, la Valeriana (*Valeriana plantaginea*) con un 4%, el Bejuco serrano (*Bomarea gaucescens*), el Tipo (*Clinopodium nubigenum*), la Pepa de raposo (*Vaccinium floribundum*) y el Zarsillo sachá (*Brachyotum jamesonii*) con un 3% . **GRAFICO 3.** Estos resultados están basados en Guía de 100 plantas silvestres del páramo del Parque Nacional Cajas.

GRAFICO 3. Porcentaje de vegetación en el Bosque de *Polylepis*



Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014

8.7.2. Efectos de los tipos de vegetación en las propiedades físicas y químicas del suelo.

✓ Propiedades físicas

Nuestros resultados de la densidad aparente ($B. D \text{ g/cm}^3$) nos indican que no existe diferencias significativas. **Tabla 2**, entre los tres tipos de vegetación ya que tienen la misma tendencia, estos resultados concuerdan con los de (Cárdenas, 2014). La densidad aparente tiene una fuerte correlación con el carbón ($r = -0.85$) y con el contenido de humedad ($W C \%$) ($r = -0.82$), por lo que interpretamos que estas variables van a estar enlazadas. **Tabla 2.**

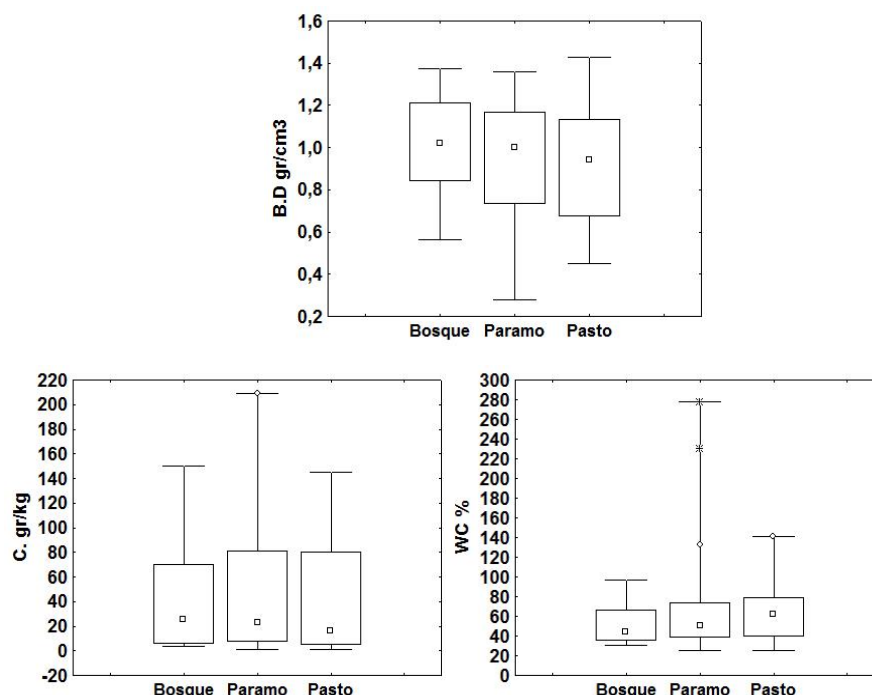


Figura 16. Relación de la B. D gr/cm^3 con el C gr/kg y el WC %

Elaborado por: Asanza y Barahona, 2014.

✓ Propiedades químicas

El pH del suelo se considera como una de las variables más importantes en controlar los diferentes procesos de meteorización biológica. Nuestros resultados demuestran que los horizontes superficiales son altamente ácidos. **Tabla 6-7-8.** Analizando la figura de la composición binaria. **Figura 14,** se observa claramente que los suelos bajo la vegetación de páramo de pajonal y bosque presentan valores de pH inferiores a 5, mientras que los suelos bajo la vegetación de páramo herbáceo con almohadillas tienen pH superiores a 5, en algunos horizontes aproximándose a pH neutro. **Tabla 6-7-8.** Estos resultados podrían sugerir que la producción de ácidos orgánicos por parte de la vegetación de páramo de pajonal y bosque ha sobrepasado al suministro de los cationes básicos debido a la meteorización química (Ca, Mg, Na y K), esto implica que con la disminución del pH una parte de los grupos ácidos permanece

sin neutralizar. Bajo estas condiciones más Al y Fe tienen la oportunidad de formar complejos con los iones de la materia orgánica. Sin embargo este proceso aparentemente no ocurre en suelos bajo la vegetación de páramo herbáceo con almohadillas, este resultado sugeriría que la producción de cationes básicos debido a la meteorización es mayor que el suministro de ácidos orgánicos por parte de la vegetación, de esta manera el aumento del pH (> 5) promueve que los cationes básicos, particularmente el Ca y Mg, coprecipiten con el Si para formar alófanos y no complejos alumino-orgánicos.

Otro factor importante del efecto de la vegetación sobre la meteorización se refiere al biociclo de los cationes. Generalmente se considera que la eliminación de los nutrientes (Na, Ca, Mg, K) de la solución del suelo se debe al consumo de las plantas y a la lixiviación que ocurre en el agua de percolación. El reciclaje de los nutrientes debido a la descomposición de las hojas, raíces y otros componentes biológicos en los medioambientes de páramo podría considerarse lenta. La descomposición del material vegetativo ocurre en forma lenta debida principalmente a la temperatura fría, esto da como resultado que los suelos acumulen materia orgánica. Nuestros resultados demuestran que los horizontes superficiales contienen cantidades significativas de carbón orgánico. **Tabla 3-4-5** y por lo tanto la producción de ácidos orgánicos debe de ser alta comparada al suministro de nutrientes reciclados de la descomposición del material vegetativo.

La vegetación pueden afectar directamente al medioambiente químico del suelo a través de la generación de agentes de meteorización, y alterando el biociclo de cationes y silicio. Otra forma como la vegetación podría influenciar los procesos de formación del suelo es alterando indirectamente la hidrología regional y el régimen hidrológico local del suelo, de esta manera puede controlar el tiempo de residencia del agua disponible para los procesos de la alteración química (Kelli et al., 1998).

Los principales agentes de meteorización producidos por las plantas son el CO₂, ácidos orgánicos y ligandos. El efecto de estos productos sobre la alteración química y por ende sobre el medioambiente depende de la cantidad y el comportamiento químico de los agentes de meteorización. El efecto más significativo del ciclo de cationes sobre la meteorización se relaciona indirectamente con el pH del suelo. Nuestros análisis demuestran que los tipos de vegetación como el páramo de pajonal, páramo de almohadillas y bosque han tenido un impacto profundo sobre la química del suelo, particularmente con respecto a la acidez y la alcalinidad que son factores que controlan la disponibilidad y el ciclo de los nutrientes. **Figura 5.** Finalmente la vegetación juega un papel crítico en el ciclo hidrológico ya que las plantas podrían influenciar el ciclo y la magnitud de los flujos y almacenamiento de agua disponible para los procesos de meteorización química en los medioambientes terrestres. Las plantas podrían modificar la evapotranspiración y por ende el vapor de agua hacia la atmósfera que luego es devuelta hacia el medioambiente terrestre en forma de lluvia. A escala local se considera que la vegetación controla el contenido de humedad del suelo el cual es altamente dependiente del contenido de carbón orgánico. Nuestros resultados demuestran que los suelos (Andosoles) en el área de estudio son ricos en carbón orgánico. **Tabla 3-4-5** y que la humedad del suelo puede llegar en algunos casos a sobrepasar el 200%. **Figura 16.** Basados en estos resultados se observa que no existen diferencias significativas entre los diferentes tipos de vegetación. **Tabla 2,** sin embargo la vegetación de páramo herbáceo con almohadillas aparentemente está influenciando la permeabilidad del suelo. Los suelos bajo este tipo de vegetación permanecen más anegados durante el año y por lo tanto la percolación del agua de lluvia es lenta, mientras que los suelos bajo páramo de pajonal y bosques tienen mejor drenaje. Este proceso ocasiona que la lixiviación de los nutrientes del suelo a través del agua de percolación es muy lenta bajo la vegetación del páramo herbáceo con almohadillas y por



lo tanto las pérdidas de cationes y Si es inferior en comparación a los otros dos tipos de vegetación. El suelo bajo la vegetación de páramo herbáceo con almohadillas consiste de pH superiores a 5 y las cantidades de cationes son superiores a los suelos bajo pajonal y bosque. Quizás se podría mencionar también que la vegetación de páramo herbáceo con almohadillas consiste en gran parte de hierbas y gramíneas que son atractivas para los animales, de esta manera son lugares apetecidos para alimentarse y por lo tanto para adicionar desechos fecales y así contribuyen con nutrientes al suelo.

8.8. Efectos que produciría el reciclaje de nutrientes al suelo en la meteorización química.

El manejo del uso del suelo es importante para maximizar la eficiencia del uso de nutrientes y reducir las pérdidas. El aporte de nutrientes al suelo a través de los excrementos y la orina de los animales podría ser significativa en sistemas sometidos al pastoreo de animales. Los páramos de la cuenca alta del río Yanuncay han sido sometidos al pastoreo intensivo de ganado y caballos en las décadas pasadas, aunque recientemente ha disminuido la presión sobre la tierra debido a que ETAPA EP ha comprado grandes áreas de terreno para proteger las fuentes hídricas, sin embargo el pastoreo todavía existe. Estudios en sistemas de pastoreo de ganado han demostrado que en promedio el 80% de N, 78% de P, y 95% de K presentes en el forraje de los alimentos de los animales se devuelven al suelo vía excrementos del ganado (Vendramini et al., 2007). Aunque estos valores podrían no aplicarse a los sistemas de páramo ya que son estudios en ambientes templados del hemisferio norte, sin embargo estos resultados resaltan la existencia de un reciclaje de nutrientes vía excrementos de ganado que ocurre en todos los ambientes donde se practica la ganadería.

En el área de estudio, la vegetación de páramo de pajonal y de páramo herbáceo con almohadillas están sometidas al pastoreo de animales y por lo tanto a sufrir cambios químicos y físicos en las propiedades de los suelos. Los cationes básicos (Ca, Mg, Na) y el pH en los suelos bajo la vegetación de páramo herbáceo con almohadillas contienen valores superiores que en los suelos bajo páramo de pajonal. **Figura 5-6-7-8.** Mientras que el contenido de Al intercambiable es inferior en los suelos bajo la vegetación de páramo herbáceo con almohadillas estas diferencias son altamente significativas. **Tabla 2,** tanto para los cationes, pH y el Al. Estos resultados podrían sugerir que en cierta medida el uso del suelo podría afectar los nutrientes del suelo, esto se explicaría debido a que los sitios cubiertos por la vegetación de páramo herbáceo con almohadillas consiste en gran parte de hierbas y gramíneas que son atractivas para los animales, de esta manera son lugares apetecidos para alimentarse y por lo tanto para adicionar desechos fecales y así contribuyen con nutrientes al suelo. Otra causa para adicionar nutrientes es por medio de las quemas, luego de que un área de pajonal ha sufrido quemas inmediatamente libera cationes y así el pH podría subir haciendo el suelo menos ácido, pero este proceso duraría poco tiempo ya que los suelos cubiertos por pajonal son bien drenados y los elementos químicos adicionados son lixiviados fácilmente. Este proceso no ocurre en áreas cubiertas por pajonal herbáceo con almohadillas donde los suelos anegados no permiten una percolación rápida del agua y por lo tanto la movilización de los elementos químicos es también lenta.

Nuestros análisis sugieren que el uso del suelo podría tener un efecto significativo en el reciclaje de nutrientes al suelo pero que el grado de contribución con respecto a la meteorización química es todavía desconocida.





9. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y expuestos, aceptamos la hipótesis alternativa de estudio en forma parcial ya que las propiedades químicas están influenciadas por el tipo de vegetación por lo tanto afecta el grado de evolución de los suelos volcánicos como los Andosoles, en cambio sobre las propiedades físicas e Hidrofísicas no se cumple ya que los análisis indican que no presentan ningún grado de significación.

La influencia del tipo de vegetación sobre las propiedades químicas y desarrollo del suelo presentan diferencias significativas por lo tanto la Hipótesis H_a si se cumple.

Existen dos patrones o tendencias, el Páramo de Pajonal (PJ) y el Bosque de Polylepis (BP) tienen el mismo comportamiento, en cambio el Páramo Herbáceo con Almohadillas (PHA) muestran un comportamiento distinto.

Los resultados nos demostraron que los Andosoles desarrollados sobre depósitos de ceniza volcánica del Sur del país se encuentran en una etapa avanzada de formación y desarrollo del suelo.

Los suelos de los páramos de la Microcuenca Cuevas ubicada en la Cuenca alta del río Yanuncay son Andosoles no alofánicos y por lo tanto muy evolucionados como resultado de la intensa meteorización química, haciendo de estos suelos los más antiguos de los páramos del Ecuador.

El desarrollo del suelo es más evolucionado bajo el bosque de *Polylepis*, un poco menos desarrollado bajo la vegetación de páramo de pajonal y el menos desarrollado bajo la vegetación de páramo herbáceo con almohadillas.



Los principales productos de la meteorización química son los complejos alumino-orgánicos mientras que la formación de alófanos es muy débil o simplemente no existe. Una de las causas para que no se formen alófanos en este tipo de Andosoles es debido a la acidez del suelo, cuando el pH baja de 5 el suministro de cationes básicos baja considerablemente o prácticamente cesa y la producción de ácidos orgánicos sobrepasa al suministro de cationes, por lo tanto el Al y Fe forma complejos con los ácidos orgánicos dejando poco o nada de Al disponible para coprecipitar con el Si, así la formación de alófanos es evitada.

La formación limitada de alófanos está dada por el bajo contenido de Si, esto es causado por la fuerte meteorización química y el lavado de los suelos, como consecuencia el Si coprecipita con él Al y Fe.

Los suelos en el páramo herbáceo con almohadillas (PHA) aparentemente están influenciados por la permeabilidad del suelo, los cuales permanecen más anegados durante el año por lo tanto las pérdidas de cationes básicos y Si son inferiores a los otros tipos de vegetación.



10. RECOMENDACIONES

Determinar si las diferentes posiciones fisiográficas afectan las propiedades químicas de los suelos de páramo.

Realizar estudios comparativos del páramo herbáceo con almohadillas de la zona de Cancán con otras zonas de estudios para determinar la evolución y desarrollo del suelo.

Se recomienda determinar si los diferentes tipos de suelo tienen un efecto en el reciclaje de nutrientes y si esto influye en la meteorización química y evolución del suelo.

Levantar más información en los diferentes tipos de vegetación, para seguir ampliando la base de datos, lo que nos permitirá tener análisis estadísticos más confiables acerca de los efectos que produciría la vegetación en los ecosistemas estudiados.

Se recomienda para estudios futuros cuantificar el grado de meteorización para mejorar la comprensión de la evolución de los suelos del páramo en el Sur del Ecuador.

Determinar el efecto de las actividades antrópicas relacionadas con las quemas, sería indispensables conocer el historial (frecuencia, intensidad), para así poder conocer las causas de las actividades antrópicas en la formación y desarrollo del suelo.



11. BIBLIOGRAFÍA

- Baculima, F. L., Baculima, J. C. and Bermeo, W. A., 1999. *Caracterización de clima por Microcuencas en el Austro Ecuatoriano*. Master's thesis, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca
- Black, J., C. Solis & C. Hernández. 1983. *Historia natural del Curiquingue*. PUCE. Quito.
- Barros, S., Loja, G. 2010. *Plan de manejo del área privada Cancán*. ETAPA-EP. Sugerencia de gestión ambiental.
- Bruijnzeel, L.A., 1983. *Hydrological and biogeochemical aspects of man-made forests in South-Central Java, Indonesia*. PhD thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, 256 pp.
- Buytaert W., Céleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., Hofstede, R., 2006. *Human impact on the hydrology of the Andean páramos*. Earth Sci. Rev. 79, 53–72.
- Buytaert W, Iñiguez V, Bièvre de B., *Hidrología del Páramo: Propiedades, Importancia y vulnerabilidad*: 26. 2, 14 [Acceso 2012 Oct 12] Disponible en <http://páramo.cc.ic.ac.uk/pubs/ES/Hidropáramo.pdf>
- Buytaert, W., 2004. *The properties of the soils of the south Ecuadorian páramos and the impact of land use changes on their hydrology*. Ph.D. thesis, Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, Katholieke Universiteit Leuven.



- Buytaert, W., Sevink, J., Leeuw, B. D. and Deckers, J., 2005b. *Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian pramo region*. Geoderma, In press.
- Buytaert, W., De Bièvre, B., Wyseure, G. and Deckers, J., 2005a. *The páramo of land use changes on the hydrological páramo of HisticAndosols in south Ecuador*. Hydrological Processes, Inpress.
- Dercont Gerd; Bossuuyt Beatrijs; De Bievre Bert; Cisneros Felipe y Deckers Jozef. (1998) *Zonificación Agroecológica del Austro Ecuatoriano*. U ediciones. Cuenca-Ecuador.
- Castaño C, Franco L. 2003.Colombia. En: Hofstede R, Segarra P, y Mena P. (Eds). 2003 *Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global PeatlandInitiative/ NC-IUCN/EcoCiencia*. Quito.85: 53,58,60,61 [Acceso 2012 Oct 23] Disponible en http://www.condesan.org/apc-aa/files/c6924e7390318016d869182e0da9470c/Introduccion_Páramos_mundo.pdf
- Cuesta, F. 2000. *El oso andino: una especie clave para la conservación de los páramos y los bosques andinos*. En: La biodiversidad de los páramos. Serie Páramo 7: 71-86. GTP/
- AbyaYala. Quito.
- De Bièvre, B., Acosta, L., 2012. *Ecosistemas altoandinos, cuencas y regulación hídrica. CONDESAN (Consortio para el Desarrollo Sostenible en la Ecorregión Andina*.
- Dercon, G., Bossuyt, B., Bièvre, B. D., Cisneros, F. and Deckers, J., 1998. *Zonificación agroecológica del Austro Ecuatoriano*. U Ediciones, Cuenca, Ecuador, 148 pp.
- Duran Artigas. *Formación de Suelos*. 2003.64: 9-32
- FAO/ISRIC/ISSS, 1998. *World Reference Base for Soil Resources. No. 84 in World Soil Resources Reports*. FAO, Rome, 88 pp



- Hedberg, I. & O. Hedberg. 1979. Tropical-alpine life-forms of vascular plants. *Oikos* 33: 297-307. Hofstede, R., P. Chilito & S. Sandoval. 1995 *Vegetative structure, microclimate, and leaf growth of an páramo tussock grass species, in undisturbed, burned and grazed conditions*. *Vegetation* 119 53-65.
- Hofstede, R. 1995. *Effects of burning and grazing on a Colombian páramo ecosystem*. Universidad de Amsterdam, I T C, Enscheda.
- Hofstede RGM. 1995. *The effects of grazing and burning on soil and plant nutrient concentrations in Colombian páramo grasslands*. *Plant and Soil* 173(1):111–132.
- Hofstede, R. 2001. *El impacto de las actividades humanas sobre el páramo*. Pp. 161-185, in P. Mena-Vasconez, G. Medina y R. Hofstede (eds.): *Los Páramos de Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas*. Editorial AbyaYala, Quito.
- Hofstede, R. 1997. *El impacto ambiental de plantaciones de Pinus en la Sierra del Ecuador*. Proyecto EcoPar, Universidad de Amsterdam, Larenstein Colegio Universitario Internacional, Velp, Holanda. 54 p.
- Hofstede, R. & N. Aguirre. 1999. *Biomasa y dinámica del carbón en relación con las actividades forestales de la Sierra del Ecuador*. En: G. Medina, P. Mena (Eds.). *El páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. Serie páramo 1*. GTP/Abyayala. Quito. Pp. 29-52.
- Ica. 1993. *Manual de suelos, plantas y aguas para riego*. Instituto Colombiano de Agropecuario. Bogotá.
- Hofstede, R., 2000. *Aspectos técnicos ambientales de la forestación en los páramos*. En: Medina, G., C. Josse y P. Mena (Eds.). *La forestación en los páramos. Serie Páramo 6*. GTP/AbyaYala. Quito.



- Imeson, A. C., J. Verstraten, E. J. Mulugen y J. Sevink. 1992. *The effects of fire and water repellency on infiltration and runoff under Mediterranean Type Forest*. Catena. 19:345-361
- Iñiguez, V. 2003. *Balance hídrico de Microcuencas de páramo*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca. IUCN.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Jaramillo Daniel. *Repelencia al Agua en Suelos: Una Síntesis*. 2006. No.15 ; 232, 217
- Josse, C. Mena, P & Medina, G (eds.). 2000. *La Biodiversidad de los Páramos*. Serie Páramo 7. Gtp /abyayala. Quito: 92; 7, 9,10,32 [Acceso 2012 Oct 23] Disponible en <http://repository.unm.edu/bitstream/handle/1928/12951/P%C3%A1ramo%207.pdf?sequence=1>
- Jenny, H. (1941) *Factors of Soil Formation*. New York, McGraw
- Kumada, K. 1987. *Chemistry of soil organic matter*. Japan Scientific Societies Press. Elsevier. Tokyo. 241 p.
- Lægaard, S. 1992. *Influence of fire in the grass páramo vegetation of Ecuador*. En: Balslev, H. y J.L. Luteyn (Eds.). *Páramo: an Andean ecosystem under human influence*. Academic Press. Londres.
- Landsberg J., T. O'Connor, y D. Freudenberger. 1999. *The Impacts of Livestock Grazing on Biodiversity in Natural Ecosystems*. Pp. 752-777, in H. J. Jung y G. C. Jr. Fahey (eds): *Nutritional Ecology of Herbivores*. Proceedings of the Vth International Symposium on the Nutrition of Herbivores. American Society of Animal Science, Savoy



- Lima, W.d.P. (1996). *Impacto ambiental del Eucalipto*. Sao Paulo: Editora da Universidade de Sao Paulo. 302 pp.
- Luteyn, J. L., 1992. *Páramos: why study them?* In: Balslev, H. and Luteyn, J L (eds.), *Páramo: an Andean ecosystem under human influence*. Academic Press London, pp. 1-14.
- Maeda, T., H. Takenaka Y B. P.Warkentin. 1977. *Physical properties of páramo er soils*. Adv. Agron. 29:229-264.
- Mena-Vasconez P. y G. Medina. 2001. *La biodiversidad de los páramos en el Ecuador*. Pp. 27– 52, in P. Mena-Vásconez, G. Medina y R. Hofstede (eds.): *Los Páramos de Ecuador. Particularidades, Problemas y Perspectivas*. Editorial AbyaYala, Quito.
- Mena-Vásconez P. *La Biodiversidad de los Páramos en el Ecuador*. 2001. 513; 496, 497, 503,505 [Acceso 2012 Oct 23] Disponible en <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/geografia/congresopáramo/la-biodiversidad.pdf>
- Medina, G., C. Josse & P. A. Mena (Eds.). 2000. *La Forestación en los Páramos*. Serie Páramo 6. GTP/AbyaYala. Quito.4 [Acceso 201 Ene 20] Disponible en: http://www.páramo.org/files/GTP_6_Páramos_Forestacion.pdf
- Nanzyo, M., S. ShojiY R. Dahlgren. 1993. *Physical páramoeristics of volcanic ash soils*. En: *Volcanic ash soils. Genesis, properties andutilization*. S. Shoji, R. Dahlgren y M. Nanzyo (Editores), Development in Soil Science 21:189-201. Elsdevier.Amsterdam.
- Plaster, E., 2000. *La ciencia del suelo y su manejo*. Editorial Paraninfo. Traducido por Tempco. 419 p.
- Podwojewski, P., Poulenard, J., Zambrana, T., Hofstede, R., 2002. *Overgrazing effects on vegetation cover and volcanic ash soil*



- properties in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador).* Soil Use Manag. 18, 45–55.
- Podwojewski P, Poulenard J. 2000. *La degradación de los suelos de los páramos.* In: Mena PA, Josse C, Medina G, editores. Los suelos del páramo. Quito: Grupo de Trabajo en Páramos/Abya-Yala: 27–36
 - Podwojewski P, Poulenard J. 2000. *Los Suelos de los Páramos del Ecuador.* Los Suelos de los Páramo. Serie Páramo 5. GTP/ AbyaYala. Quito; 4, 5, 6,8 [Acceso 2012 Oct 23] Disponible en http://www.ecociencia.org/archivos/páramo_GTP05-091128.pdf
 - Podwojewski P. 1999. *Los suelos de las altas tierras andinas: los páramos del Ecuador.* Bol Soc Ecuator Cie Suelo 18:9–14.
 - Podwojewski P. 2000. *Aspectos técnicos industriales de la forestación en los páramos.* En La Forestación en los Páramos. Serie Páramo 6. GTP/ AbyaYala. Quito: 76. 37,43
 - Porta, J.; M. López; C. Roquero De Loburu. 2003. *“Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente”.* 3^{da} edición. Ed. Mundi Prensa. Madrid – España. 929 p.
 - Poulenard J, Podwojewski P, Jeanneau JL, Collinet J. 2001. *Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian páramo: effects of tillage and burning.* Catena 45:185–207
 - Poulenard, J., Podwojewski, P. and Herbillon, A. J., 2003. *Characteristics of non- allophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos.* Geoderma, 117: 267–281.
 - Poulenard, J., 2000. *Les sols des páramos d’Equateur Sur couverture pyroclastique.* Diversité, génèse et propriétés physiques. Ph.D. thesis, Université Henry Poincaré – Nancy I.



- Proyecto Páramo Andino. Bert De Bièvre, Iñiguez, B. Buytaert, W. "Colombia tiene Páramos." *Hidrología del páramo*. 2012. No.2:93; 3,4,10,11,12, 17,34,45
- Proyecto Páramo, 1999. *Mapa preliminar de los páramos del Ecuador*. Documento no publicado. Universidad de Ámsterdam / EcoCiencia/ Instituto de Montaña. Quito
- PRONAREG-ORSTOM, 1978B 1985. *Cartografía de los suelos de la*
- *República del Ecuador*. 1/200.000. Colmet-Daage (Ed.), Quito
- Ramírez, P., F. Izquierdo, y O. Paladines. 1996. *Producción y utilización de Pastizales en Cinco Zonas Agroecológicas de Ecuador*. MAG-GTZ-REPAAN, Quito.
- Rivera 2001. Colombia. En Hofstede R, Segarra P, Mena P. (Eds.) 2003. *Los Páramos del Mundo Proyecto Atlas Mundiales de los Páramos*. Global Peatland Initiative/NCIUCN/EcoCiencia. Quito.
- Tirria, D. 1999. *Mamíferos del Ecuador*. Museo de Zoología. Centro de Biodiversidad y Ambiente. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Sociedad para la Investigación y Monitoreo de la Biodiversidad Ecuatoriana. Quito.
- Ulloa, Álvarez, Jorgensen & Minga. *Guía de 100 PLANTAS silvestres del páramo del Parque Nacional Cajas*. ETAPA-EP
- Vanacker, V., Govers, G., Barros, S., Poesen, J., Deckers, J., 2003. *The effect of short-term socio-economic and demographic changes on land-use dynamics and its corresponding geomorphic response with relation to water erosion in a tropical mountainous catchment, Ecuador*. *Landscape Ecol.* 18, 1–15.
- Verdugo V., 2006. Plan de Manejo ABVP Yanuncay-Irquis Pp.19:4,6,9.



- Williamson, G.B., G.F. Schatz, A. Alvarado, C.S. Redhead, A.C. STAM y S.W. STERNER. 1986. *Effects of repeated fire on tropical páramo vegetation*. Tropical Ecology 27: 62-69.
- Zehetner, F.; Miller, W.P.; West, L.T. 2003, *Pathogenesis of Volcanic Ash Soils in Andean Ecuador*. Soil Science Soc. Am. 67:1797-1809
- Zapata, R., 2006. *Química de los Procesos Pedogénéticos*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Escuela de Geociencias. Medellín. Pp. 358:4.

12. ANEXOS

12.1. Ubicación, realización (calicatas) y descripción de los perfiles

Materiales

- Cámara fotográfica
- Barreno manual
- Pala de desfonde
- Cinta métrica



- Cuchillo de suelos
- Etiquetas
- Adhesivos para identificar muestras y horizontes
- Clinómetro
- Lupa
- Libreta de campo

Metodología para la realización, ubicación y descripción de las calicatas

Para la ubicación de las calicatas primero se realizó un reconocimiento del terreno para la determinación de los principales tipos de cobertura vegetal y tipos de suelo (Bosque de *Polylepis* (BP), Paramo de pajonal (PJ) y paramo herbáceo con almohadillas (PHA). Mediante la utilización de un barreno de suelos se sondeó en diferentes posiciones topográficas para la identificación de los suelos predominantes. El siguiente paso fue la ubicación de las calicatas, las cuales se ubicaron en lugares de fácil accesibilidad y representativos. Se realizaron 6 catenas de suelo, para cada catena se realizaron 3 calicatas ubicadas en la parte convexa, linear y cóncava de la pendiente o ladera. Los puntos de referencia se tomaron con GPS.

Las dimensiones de las calicatas fue de 1m de ancho x 1m de largo y de fondo (dependió de la profundidad del horizonte C o saprofito)

En total se realizaron 18 calicatas, de las cuales tres se ubicaron en el bosque de *Polylepis*, nueve en el pajonal o páramo degradado y seis en sitios cubiertos por paramo herbáceo con almohadillas.

Para la descripción de las calicatas o perfiles se utilizó el formulario de información del PROMAS (ver anexo 1), el cual permitió recopilar la información respectiva de cada una de ellas.



Realización, ubicación y descripción de las calicatas

Fuente: Asanza y Barahona, 2014

Metodología para la descripción de las calicatas

Una vez realizada la calicata, se colocó una cinta métrica sobre el perfil de suelo frontal (en dirección de la pendiente hacia abajo) esto permitió distinguir los diferentes horizontes de estudio y clasificación, para cada horizonte se tomó aproximadamente 2 kg de suelo y se las colocó en fundas plásticas, registradas según su código. Posteriormente se colocó un anillo Kopecky en él para tomar muestras, el cual se introduce en forma horizontal en dirección de cada uno de los horizontes identificados en la calicata de estudio, esto se realizó con la ayuda de un martillo de goma, los bordes se limpiaron con una espátula edafológica teniendo cuidado de no compactar el suelo. Se sella herméticamente el cilindro para que no pierda humedad. Una vez tomadas las muestras en el campo, se las llevó al laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca. Donde se procedió a secar las muestras de suelo al aire libre utilizando bandejas de aluminio, el tiempo aproximado de secado fue de 15 días. Una vez secas las muestras y con la ayuda de un mortero se procedió a moler el suelo, se tamizó con un tamiz de 2 mm de tamaño del orificio. Las muestras de la fracción fina obtenidas fueron colocadas en fundas plásticas pequeñas con un peso de 100g. Las cuales se enviaron al laboratorio de Ciencias del Suelo de Ecosistemas Tropicales y Subtropicales de la Universidad de Gottingen en Alemania para los análisis químicos.



Figura 17. Toma de muestras para análisis de densidad aparente

Fuente: Asanza y Barahona, 2014



Figura 18. Secado de muestras de suelo

Fuente: Asanza y Barahona, 2014

12.2. Coordenadas UTM de las diferentes calicatas de estudio

Nombre	Coordenadas	
	X	Y
PJ 2 Alto	691287	9665492
PJ 2 Medio	691280	9665426



PJ 2 Bajo	691289	9665359
PJ 3 Alto	691614	9665124
PJ 3 Medio	691548	9665187
PJ 3 Bajo	691450	9665234
PJ 5 Alto	689649	9665507
PJ 5 Medio	689660	9665441
PJ 5 Bajo	689673	9665382
PHA 2 Alto	691334	9665510
PHA 2 Medio	691313	9665415
PHA 2 Bajo	691223	9668501
PHA 4 Alto	689681	9665533
PHA 4 Medio	689700	9665462
PHA 4 Bajo	689708	9665398
BP 2 Alto	691529	9665058
BP2 Medio	691517	9665098
BP2 Bajo	691516	9665102

Fuente: (Asanza y Barahona 2014)

12.3. Procesamiento de los formularios de Calicatas PROMAS

CALICATA PJ5 ALTO

Descripción

Código: PJ5 Alto



Ubicación: Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013

Coordenadas UTM: x=0689649 y=9665507

Clasificación: Andosol

Vegetación: Páramo

Material parental: Material volcánico

Topografía: Pendiente cóncava, pendiente del 18 %

Otras: Profundidad radicular 65 cm, profundidad radicular efectiva 40 cm; fauna del suelo, mucha

Horizontes

O 0-3 cm. Horizonte orgánico

(Josse et al., 2000).

CA 40-65 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 2/2; textura del suelo arcillo limoso; consistencia en húmedo firme, en mojado adherente, plasticidad plástico; estructura: grado moderado, tipo bloque angular bloque subangular, tamaño medio; poros: abundancia 1-50 dm^2 , tamaño $< 0.075 \text{ mm}$, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, discontinuos, orientación vertical; rocas: abundancia 15%, tamaño 2 cm, forma irregular, color tomate, grado suave.

C > 65 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 4/6; textura del suelo, masivo.

B.1. Análisis físico

PARAMETROS	A	CA	C
Da (g / cm^3)	0,83	1,17	1,17

B.2. Análisis químico



PARAMETROS		A	CA	C
pH	H ₂ O	5,0	4,8	5,8
	KCL	3,9	3,9	4,0
	ΔpH	1,1	0,9	1,8
C.O (g/kg)		57,9	15,1	3,8
C.I.C	meq/100 gr arcilla	12,50	10,27	9,11
CATIONES meq/100 gr suelo)	Ca	1,95	3,58	4,72
	Mg	0,67	1,13	1,58
	K	0,30	0,22	0,23
	Na	0,03	0,08	0,10
	Al	9,13	4,92	2,38
	Fe	0,03	0,01	0,00
	Mn	0,22	0,23	0,03
N. total (g/kg)		3,4	1,0	0,3
Saturación de bases (%)		24	50	73
Alo (g/kg)		8,64	7,19	4,16
Feo (g/kg)		15,56	10,98	7,11
Sio (g/kg)		0,46	0,49	0,53
Alp (g/kg)		7,53	4,64	0,80
Fep (g/kg)		5,15	2,87	0,77

CALICATA PJ5 Medio

Descripción

Código: PJ5 Medio



Ubicación: Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013

Coordenadas UTM: x = 0689660 y = 9665441

Clasificación: Andosol

Vegetación: Páramo

Material parental: Material volcánico

Topografía: Pendiente linear, pendiente del 17 %

Otras: Profundidad radicular 70 cm, profundidad radicular efectiva 40 cm; fauna del suelo, mucha.

Horizontes

- O 0-3 cm:** Horizonte orgánico
- A 3-42 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo, franco limoso; consistencia, en húmedo friable a muy friable, en mojado no adherente, plasticidad no plástico; estructura: grado fuerte, tipo granular y migajosa, tamaño fino; Poros: abundancia > 200 dm², tamaño 1-2 mm, distribución inped y exped, tipo vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; rocas 5 %, tamaño 3 cm, forma redondeada, color tomate rojizo; raíces abundantes > 200, tamaño <1 y 1-2 mm.
- AC 42-60 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 3/1; textura del suelo, arcillo limoso; consistencia, en húmedo firme, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura en grado moderado, tipo bloque angular y bloque subangular, tamaño fino; Poros: abundancia 51-200dm², tamaño 2-5 mm distribución inped y exped, tipo vesicular y tubular, discontinuos, orientación vertical y horizontal; raíces: abundancia 20-50, tamaño 1-2 mm.
- C > 60 cm.** Color del suelo en húmedo 2,5 Y 5/3; textura del suelo; masivo



B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARAMETROS	A	AC	C
Da (g / cm ³)	0,81	1,08	1,15

B.2. Análisis químico

PARAMETROS		A	AC	C
pH	H ₂ O	4.5	5.2	5.3
	KCL	3.7	3.9	3.9
	ΔpH	0,8	1,3	1,4
C.O (g/kg)		85,6	19,1	8,2
C.I.C	meq/100 gr arcilla	17,09	10,09	9,60
CATIONES meq/100 gr suelo)	Ca	2.99	1.95	2.39
	Mg	1.10	0.54	0.70
	K	0.86	0.13	0.21
	Na	0.12	0.08	0.14
	Al	11,29	7,20	6,05
	Fe	0,46	0,05	0,02
	Mn	0,03	0,00	0,00
N. total (g/kg)		4,8	1,1	0,5
Saturación de bases (%)		31	27	36
Alo (g/kg)		9,99	7,38	7,62
Feo (g/kg)		13,86	4,08	4,30
Sio (g/kg)		0,49	0,49	0,50
Alp (g/kg)		6,70	8,18	7,11
Fep (g/kg)		6,32	4,46	2,33

CALICATA PJ5 Bajo

Descripción

Código: PJ5 Bajo



Ubicación: Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013

Coordenadas UTM: x=0689673 y=9665382

Clasificación: Andosol

Vegetación: Páramo

Material parental: Material volcánico

Topografía: Pendiente cóncava, pendiente del 15 %

Otras: Profundidad radicular 60 cm, profundidad radicular efectiva 40 cm; fauna del suelo, mucha

Horizontes

O 0-3 cm. Horizonte orgánico

A 3-40 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable a muy friable, en mojado no adherente, plasticidad no plástico; estructura: grado fuerte, tipo granular y migajosa, tamaño fino; Poros: abundancia > 200 dm², tamaño < 0.075-5 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; raíces: abundancia > 200 dm², tamaño 2-5 mm.

CA 40-55 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 2/2; textura del suelo arcillo limoso; consistencia en húmedo firme, en mojado adherente y ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado débil, tipo bloque angular, tamaño medio y fino; poros: abundancia 1-50 dm², tamaño < 0.075 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, discontinuos, orientación vertical; rocas: abundancia 10%, tamaño 3 cm, forma irregular, color gris, grado duro.

C > 55 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 6/8; textura del suelo, masivo.



B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARAMETROS	A	CA	C
Da (g / cm ³)	0,74	1,14	1,36

B.2. Análisis químico

PARAMETROS		A	CA	C
pH	H ₂ O	4,5	5,1	5,2
	KCL	3,8	3,8	3,7
	ΔpH	0,7	1,3	1,5
C.O (g/kg)		93,0	23,1	6,1
C.I.C	meq/100 gr arcilla	8,64	9,28	9,60
CATIONES meq/100 gr suelo)	Ca	2,63	4,15	2,39
	Mg	0,58	0,96	0,70
	K	0,17	0,19	0,21
	Na	0,10	0,18	0,14
	Al	4,91	3,64	6,05
	Fe	0,07	0,02	0,02
	Mn	0,03	0,01	0,00
N. total (g/kg)		5,7	1,5	0,5
Saturación de bases (%)		18	41	59
Alo (g/kg)		9,75	5,17	5,04
Feo (g/kg)		16,41	8,13	5,04
Sio (g/kg)		0,51	0,51	0,53
Alp (g/kg)		6,17	5,16	1,59
Fep (g/kg)		8,31	5,50	2,19

CALICATA PJ3 Alto

Descripción

Código: PJ3 Alto



Ubicación: Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013

Coordenadas UTM: x=0691614 y=9665124

Clasificación: Andosol

Vegetación: Páramo

Material parental: Material volcánico

Topografía: Pendiente cóncava, pendiente del 16 %

Otras: Profundidad radicular 70 cm, profundidad radicular efectiva 50 cm; fauna del suelo, mucha

Horizontes

B. 0-5 cm. Horizonte orgánico

A1 5-50 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo muy friable, en mojado ligeramente adherente, plasticidad no plástico; estructura: grado fuerte, tipo granular y migajosa, tamaño fino; Poros: abundancia > 200 dm², tamaño 0.075-1 y de 1-2 mm, distribución inped y exped, tipos tubular, continuos discontinuos y orientación al azar; raíces: abundancia > 200 dm², tamaño de 1-2 mm.

A2 50-70 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 2/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable y firme, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado moderado, tipo bloque angular bloque subangular, tamaño fino; poros: abundancia >200 dm², tamaño de 0.075-1 y de 1-2 mm, distribución inped y exped, tipos tubular, discontinuos, orientación al azar; rocas: abundancia 5%, tamaño 15 cm, forma irregular, color tomate, grado suave; raíces: abundancia 50-200, tamaño de 1-2 mm.

C > 70 cm. Color del suelo en húmedo 7.5 YR 5/8; textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARAMETROS	A 1	A 2	C
Da (g / cm ³)	0,28	0,33	0,88

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A1	A2	C
pH	H ₂ O	5,2	5,3	5,3
	KCl	3,9	4,3	4,8
	ΔpH	1,3	1,0	0,5
C.O (g/kg)		209,0	98,9	21,7
C.I.C	meq/100 gr arcilla	19,81	5,66	1,03
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	1,70	0,63	0,14
	Mg	0,70	0,08	0,01
	K	0,68	0,12	0,11
	Na	0,10	0,15	0,05
	Al	16,22	4,59	0,70
	Fe	0,18	0,03	0,02
	Mn	0,01	0,00	0,00
N. total (g/kg)		9,0	4,4	0,6
Saturación de bases (%)		16	17	31
Alo (g/kg)		16,41	31,77	0,00
Feo (g/kg)		6,32	10,13	0,00
Sio (g/kg)		0,53	0,48	0,46
Alp (g/kg)		12,11	25,79	5,61
Fep (g/kg)		3,96	8,15	5,97

CALICATA PJ3 Medio

Descripción



Código:	PJ3 Medio
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Coordenadas UTM:	x=0691548 y=9665187
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Páramo
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente cóncava, pendiente del 13 %
Otras:	Profundidad radicular 65 cm, profundidad radicular efectiva 50 cm; fauna del suelo, mucha

Horizontes

B.□. 0-5 cm. Horizonte orgánico

- A1 5-45 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado no adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado fuerte, tipo granular y migajosa, tamaño muy fino; Poros: abundancia > 200 dm², tamaño < 0.075-1 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; raíces: abundancia > 200 dm², tamaño <1 mm.
- A2 45-65 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 2/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado no adherente, plasticidad no plástico; estructura: grado moderado, tipo bloque subangular y granular, tamaño muy fino; poros: abundancia 51-200 dm², tamaño 0.075-1 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos, orientación al azar; rocas: abundancia 1-5%, tamaño 5-10 cm, forma irregular, amarillo/gris, grado duro.
- C > 65 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 6/6; textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARAMETROS	A1	A2	C
Da (g / cm ³)	0,51	0,74	1,36

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A1	A2	C
pH	H ₂ O	4,8	4,9	5,0
	KCl	3,9	4,1	4,1
	ΔpH	0,9	0,8	0,9
C.O (g/kg)		153,7	81,4	7,5
C.I.C	en meq/100 gr arcilla	15,54	15,14	5,20
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	1,06	0,94	0,36
	Mg	0,31	0,14	0,7
	K	0,31	0,16	0,13
	Na	0,04	0,18	0,04
	Al	13,54	13,54	4,55
	Fe	0,07	0,09	0,01
	Mn	0,00	0,00	0,00
N. total (g/kg)		7,4	3,3	0,4
Saturación de bases (%)		11	9	11
Alo (g/kg)		17,04	16,80	9,75
Feo (g/kg)		6,14	5,81	5,81
Sio (g/kg)		0,42	0,44	0,39
Alp (g/kg)		13,30	11,06	5,30
Fep (g/kg)		4,28	3,21	2,57

CALICATA PJ3 Bajo



Descripción

Código:	PJ3 Bajo
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Coordenadas UTM:	x=0691450 y=9665234
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Páramo
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente cóncava, pendiente del 17 %
Otras:	Profundidad radicular 50 cm, profundidad radicular efectiva 35 cm; fauna del suelo, mucha.

Horizontes

- O 0-5 cm.** Horizonte orgánico
- A 5-35 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable a muy friable, en mojado no adherente, plasticidad no plástico; estructura: grado fuerte, tipo granular y migajosa, tamaño fino; Poros: abundancia > 200 dm², tamaño 1-2 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; raíces: abundancia > 200 dm², tamaño 1-2 y de 2-5 mm.
- AC 35-50 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 3/2; textura del suelo franco arcillo limoso; consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado moderado, tipo bloque subangular, tamaño medio; poros: abundancia 51-200 dm², tamaño 2-5 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, discontinuos, orientación vertical; raíces: abundancia 50-200 tamaño <1 mm.



C > 50 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 3/2; textura del suelo, masivo

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARAMETROS	A	AC	C
Da (g / cm ³)	0,55	0,79	1,36

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A	AC	C
pH	H ₂ O	4,9	4,8	5,3
	KCl	3,9	3,9	3,9
	ΔpH	1,0	0,9	1,4
C.O (g/kg)		101,8	37,1	2,9
C.I.C	meq/100 gr arcilla	9,46	8,48	3,88
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	0,69	0,35	0,79
	Mg	0,28	0,13	0,40
	K	0,28	0,08	0,06
	Na	0,04	0,04	0,05
	Al	7,85	7,65	2,48
	Fe	0,16	0,11	0,01
	Mn	0,01	0,00	0,00
N. total (g/kg)		6,3	2,0	0,2
Saturación de bases (%)		14	7	34
Alo (g/kg)		8,57	5,59	4,53
Feo (g/kg)		4,27	1,91	1,91
Sio (g/kg)		0,41	0,42	0,41
Alp (g/kg)		6,85	3,74	0,71
Fep (g/kg)		2,33	0,99	0,28



CALICATA PJ1 Alto

A. Descripción

Código:	PJ1 Alto
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Coordenadas UTM:	x=0691287 y=9665492
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Páramo
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente cóncava, pendiente del 12 %
Otras:	Profundidad radicular 100 cm, profundidad radicular efectiva 42 cm; fauna del suelo, común

Horizontes

- O 0-5 cm.** Horizonte orgánico
- A 5-42 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado débil, tipo granular y migajosa, tamaño fino; Poros: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 0.075-1$ y $0,075-1 \text{ mm}$, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; raíces: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 1 \text{ mm}$.
- AC 42-70 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado moderado, tipo bloque granular migajosa, tamaño fino; poros: abundancia $51-200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 0.075 \text{ mm}$, distribución inped y

exped, tipos vesicular y tubular, discontinuos, orientación al azar;
raíces: abundancia >200, tamaño <1 mm.

CA 70-90 cm. Color del suelo en húmedo 2,5 Y 4/4; textura del suelo franco arcilloso; consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado débil, tipo bloque subangular, tamaño fino; poros: abundancia 1-50 dm², tamaño < 0.075-1 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; rocas: abundancia 1 % tamaño 2 cm, color amarillo, grado duro; raíces: abundancia 20-50 dm², tamaño <1 mm.

C > 90 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 5/6; textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químico

B.1. Análisis físico

PARAMETROS	A	AC	CA	C
Da (g / cm ³)	0,68	0,92	1,17	1,22

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A	AC	CA	C
pH	H ₂ O	4,9	4,9	5,1	5,4
	KCl	3,9	4,0	4,2	4,2
	ΔpH	1,0	0,9	0,9	1,2
C.O (g/kg)		82,1	44,7	14,8	5,2
C.I.C	meq/100 gr arcilla	10,68	7,96	3,77	2,61
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	0,56	0,20	0,07	0,12
	Mg	0,36	0,13	0,04	0,05
	K	0,27	0,09	0,04	0,04
	Na	0,05	0,04	0,02	0,04
	Al	9,14	7,33	3,55	2,33
	Fe	0,14	0,05	0,02	0,00
	Mn	0,01	0,02	0,00	0,00
N. total (g/kg)		4,6	2,4	0,9	0,4
Saturación de bases (%)		12	6	4	9
Alo (g/kg)		13,77	16,59	15,83	12,03
Feo (g/kg)		7,52	6,89	4,26	2,98
Sio (g/kg)		0,70	0,72	0,19	0,22



CALICATA PJ1 Medio

Descripción

Código:	PJ1 Medio
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Coordenadas UTM:	x=0691280 y=9665426
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Páramo
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente del 13 %
Otras:	Profundidad radicular 100, profundidad radicular efectiva 50 cm, fauna del suelo común.

Horizontes

- O 0-5 cm.** Horizonte orgánico
- A 5-45 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: tipo granular y migajosa, tamaño muy fino; poros: abundancia > 200 dm², tamaño < 0.075-1 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; raíces: abundancia > 200 dm², tamaño <1 mm.
- AC 45-70 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 2/2; textura del suelo franco arcillo limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura:

tipo bloque granular migajosa, tamaño muy fino; nódulos: abundancia 1-5%, tamaño 2 cm, forma redonda, color amarillo, grado suave; raíces: abundancia 1-20, tamaño <1 mm.

CA 70-105 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 4/4; textura del suelo arcillo limoso; consistencia en húmedo firme, en mojado adherente, plasticidad plástico; estructura: tipo bloque subangular, tamaño fino; raíces: abundancia 1-20 dm², tamaño <1 mm.

C >105 cm. Color de suelo en húmedo 2,5 Y 4/3, textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARAMETROS	A	AC	CA	C
Da (g / cm ³)	0,73	1,11	1,24	1,03

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A	AC	CA	C
pH	H ₂ O	4,5	4,9	5,0	5,2
	KCl	3,9	4,0	4,0	4,0
	ΔpH	0,6	0,9	1,0	1,2
C.O (g/kg)		63,5	30,1	12,0	5,8
C.I.C	en meq/100 gr arcilla	12,33	6,72	5,49	4,02
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	2,64	0,18	0,15	0,13
	Mg	0,33	0,10	0,07	0,07
	K	0,27	0,08	0,06	0,08
	Na	0,04	0,02	0,05	0,05
	Al	8,47	6,20	5,08	3,61
	Fe	0,06	0,05	0,01	0,00
	Mn	0,08	0,00	0,00	0,00
N. total (g/kg)		4,1	1,7	0,7	0,4
Saturación de bases (%)		27	6	6	8
Alo (g/kg)		10,52	12,05	6,27	9,30
Feo (g/kg)		9,60	8,27	4,01	6,55
Sio (g/kg)		0,34	0,38	0,51	0,52
Alp (g/kg)		7,91	6,66	3,64	2,24
Fep (g/kg)		5,07	4,43	2,49	1,39



CALICATA PJ1 Bajo

Descripción

Código:	PJ1 Bajo
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Coordenadas UTM:	x=0691289 y=9665359
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Páramo
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente linear, pendiente del 15 %
Otras:	Profundidad radicular 90 cm, profundidad radicular efectiva 50 cm, fauna del suelo común.

Horizontes

- O 0-5 cm.** Horizonte orgánico
- A 5-25 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: tipo migajosa, tamaño muy fino; Poros: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño 0,75-1 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular e



irregular, continuos y orientación al azar; raíces: abundancia > 200 dm², tamaño < 1 mm.

AC 25-60 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 2/2; textura del suelo arcillo limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado fuerte, tipo bloque subangular, tamaño fino; Poros: abundancia 1-50 dm², tamaño 0,075-1 mm, distribución inped y exped, discontinuos y orientación al azar; raíces: abundancia 20-50 dm², tamaño < 1 mm.

C >90 cm. Color del suelo en húmedo 2,5 Y 7/3; textura del suelo, masivo

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARAMETROS	A	AC	C
Da (g / cm ³)	0,63	1,09	1,00

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A	AC	C
pH	H ₂ O	4,9	5,2	5,9
	KCl	3,9	3,9	4,2
	ΔpH	1,0	1,3	1,7
C.O (g/kg)		75,5	17,1	1,2
C.I.C	en meq/100 gr arcilla	10,55	6,37	4,06
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	0,55	0,90	2,21
	Mg	0,27	0,32	0,99
	K	0,33	0,11	0,38
	Na	0,03	0,04	0,14
	Al	9,05	4,86	0,32
	Fe	0,17	0,03	0,00
	Mn	0,01	0,00	0,00



N. total (g/kg)	4,4	0,9	0,00
Saturación de bases (%)	11	22	91
Alo (g/kg)	11,69	8,52	4,66
Feo (g/kg)	8,49	3,81	2,83
Sio (g/kg)	0,54	0,53	0,51
Alp (g/kg)	7,34	3,98	0,44
Fep (g/kg)	4,32	1,37	0,22

CALICATA PHA2 Alto

Descripción

Código:	PHA2 Alto
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Coordenadas UTM:	X=0691334 Y=9665510
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Pasto
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente cóncava, pendiente del 24 %

Otras:	Profundidad radicular 60 cm, profundidad radicular efectiva 35 cm; influencia humana, tipo de influencia ganadera, fauna del suelo común.
---------------	---

Horizontes

- O** 0-3 cm. Horizonte orgánico

- A 3-38 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable y muy friable, en mojado no adherente, plasticidad no plástico; estructura: grado fuerte, tipo granular y migajosa, tamaño muy fino; Poros: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 0,075$ y de 1-2 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; raíces abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño < 1 y de 1-2 mm.
- C >38 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 5/4, textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARAMETROS	A	C
Da (g / cm ³)	0,49	0,91

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A	C
pH	H ₂ O	5,6	6,2
	KCl	4,3	4,6
	ΔpH	1,3	1,6
C.O (g/kg)		145,0	1,1
C.I.C	meq/100 gr arcilla	22,91	11,18
	Ca	16,72	7,34
Cationes (meq/100 gr suelo)	Mg	3,19	3,18
	K	0,53	0,42
	Na	0,24	0,18
	Al	2,00	0,05
	Fe	0,04	0,00
	Mn	0,10	0,01



N. total (g/kg)	9,1	0,1
Saturación de bases (%)	91	100
Alo (g/kg)	12,57	4,98
Feo (g/kg)	5.15	0,00
Sio (g/kg)	0,53	0,53
Alp (g/kg)	8,65	0,31
Fep (g/kg)	2,35	0,24

CALICATA PHA2 Medio

Descripción

Código:	PHA2 Medio
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Pasto
Material parental:	Material volcánico
Otras:	Profundidad radicular 45 cm. Profundidad radicular efectiva 30 cm; influencia humana, tipo de influencia ganadera fauna del suelo común.

Horizontes

O 0-5 cm. Horizonte orgánico



- A 5-30 cm.** Color del suelo en húmedo 7,5 YR 2/1; textura del suelo franco arcillo limoso; consistencia en húmedo friable y firme, en mojado ligeramente adherente, plasticidad plástico; estructura: grado fuerte, tipo migajosa, tamaño fino; Poros: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 0.075-1 \text{ mm}$, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; Raíces: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 1-2 \text{ mm}$.
- AC 30-45 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 2/1; textura del suelo, franco limoso; consistencia, en húmedo firme, en mojado adherente, plasticidad no plástico; estructura en grado moderado, tipo subangular, tamaño medio; Poros: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $0.075-1 \text{ mm}$ distribución inped y exped, tipo tubular, continuos, orientación al azar; Rocas: abundancia 1-5 %, tamaño 5-10 mm, forma amarilla/ gris, grado duro; Raíces: abundancia 20- 50 dm^2 , tamaño 1-2 mm
- C $> 45 \text{ cm}$.** Color del suelo en húmedo 10 YR 5/4; textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARÁMETROS		A	AC	C
Da (g/cm^3)		0,59	0,68	0,93

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A	AC	C
pH	H ₂ O	5,4	5,2	5,4
	KCl	4,0	4,0	3,9
	ΔpH	1,4	1,2	1,5
C.O (g/kg)		114,5	37,5	7,3
C.I.C	meq/100 gr arcilla	11,18	7,43	5,36
	Ca	4,56	2,22	1,55
	Mg	1,43	0,72	0,74

Cationes (meq/100 gr suelo)	K	0,47	0,06	0,35
	Na	0,25	0,16	0,30
	Al	4,05	4,10	2,23
	Fe	0,10	0,01	0,03
	Mn	0,17	0,05	0,07
N. total (g/kg)		7,5	2,2	0,5
Saturación de bases (%)		61	43	56
Alo (g/kg)		8,36	9,38	8,16
Feo (g/kg)		16,71	15,71	10,43
Sio (g/kg)		0,53	0,54	0,53
Alp (g/kg)		5,27	6,51	0,19
Fep (g/kg)		7,01	4,24	0,17

CALICATA PHA2 Bajo

Descripción

Código:	PHA2 Bajo
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Pasto
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente cóncava, pendiente del 23%
Otras:	Profundidad radicular 70 cm. Profundidad radicular efectiva 30 cm; Influencia humana,



tipo de influencia ganadera, fauna del suelo común.

Horizontes

O 0-5 cm. Horizonte orgánico

A 5-30 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado fuerte, tipo migajosa, tamaño muy fino; Poros: abundancia > 200 dm², tamaño < 0.075-1 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; Raíces: abundancia > 200 dm², tamaño < 1-2 mm.

AC 30-45 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 2/1; textura del suelo franco arcillo limoso; consistencia en húmedo firme, en mojado adherente, plasticidad plástico; estructura: grado débil y moderado, tipo bloque subangular y migajosa, tamaño fino; Poros: abundancia 51-200 dm², tamaño; 0.075-1 mm, distribución; inped y exped, tipos; vesicular y tubular, continuos, orientación al azar; Raíces: abundancia 50-200 dm², tamaño < 1 mm.

C > 45 cm. Color del suelo en húmedo 2,5 Y 7/2; textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARÁMETROS		A	AC	C
Da (g/cm ³)		0,57	1,22	0,94

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A	AC	C
pH	H ₂ O	5,2	5,1	5,3
	KCl	4,0	3,9	3,9
	ΔpH	1,2	1,2	1,4
C.O (g/kg)		126,8	35,4	5,0
C.I.C	meq/100 gr arcilla	13,44	8,73	4,00
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	3,94	2,97	1,54
	Mg	1,22	1,16	0,84
	K	0,54	0,10	0,16
	Na	0,22	0,16	0,09
	Al	7,05	4,16	1,25
	Fe	0,27	0,03	0,02
	Mn	0,05	0,02	0,01
N. total (g/kg)		8,4	2,0	0,4
Saturación de bases (%)		45	51	66
Alo (g/kg)		10,31	8,97	5,60
Feo (g/kg)		9,35	8,18	3,97
Sio (g/kg)		0,54	0,55	0,56
Alp (g/kg)		7,02	5,26	1,55
Fep (g/kg)		4,52	2,53	0,89

CALICATA PHA4 Alto

Descripción

Código:	PHA4 Alto
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Pasto
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente convexa, pendiente del 22 %



Otras: Profundidad radicular 50 cm. Profundidad radicular efectiva 30 cm; fauna del suelo, mucha

Horizontes

O 0-3 cm. Horizonte orgánico

A 3-30 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 3/2; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable y muy friable, en mojado no adherente, plasticidad no plástico; estructura: grado fuerte, tipo granular y migajosa, tamaño fino; Poros: abundancia > 200 dm², tamaño < 0.075-5 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; raíces abundantes > 200 dm², tamaño < 2-5 mm.

CA 30-46 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 5/3; textura del suelo arcillo limoso; consistencia en húmedo firme, en mojado adherente, plasticidad plástico; estructura: grado débil y moderado, tipo bloque subangular(débil) y granular, tamaño fino; Poros: abundancia 1-50 dm², tamaño; < 0.075mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, discontinuos, orientación vertical; rocas: abundancia 15%, tamaño 1-5 cm, forma redondeada, color gris, grado duro; raíces: abundancia 20-50 dm², tamaño < 1 mm

C > 46 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 7/2; textura del suelo, masivo

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARÁMETROS		A	CA	C
Da (g/cm ³)		1,08	1,09	1,02

B.2. Análisis químico



PARÁMETROS		A	CA	C
pH	H ₂ O	5,5	5,8	6,1
	KCl	4,5	4,4	4,4
	ΔpH	1,0	1,4	1,7
C.O (g/kg)		45,5	9,8	2,7
C.I.C	meq/100 gr arcilla	10,44	13,65	11,49
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	8,97	11,88	10,06
	Mg	0,56	0,86	0,72
	K	0,30	0,39	0,34
	Na	0,21	0,28	0,20
	Al	0,28	0,19	0,14
	Fe	0,05	0,01	0,00
	Mn	0,04	0,01	0,01
N. total (g/kg)		3,9	0,9	0,3
Saturación de bases (%)		97	98	99
Alo (g/kg)		4,04	4,81	3,13
Feo (g/kg)		3,97	4,98	5,34
Sio (g/kg)		0,57	0,58	0,57
Alp (g/kg)		1,27	8,63	1,29
Fep (g/kg)		1,35	2,87	0,66

CALICATA PHA4 Medio

Descripción

Código:	PHA4 Medio
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Pasto
Material parental:	Material volcánico



Topografía: Pendiente linear, pendiente del 19 %

Otras: Profundidad radicular 50 cm. Profundidad radicular efectiva 30 cm; fauna del suelo, mucha.

Horizontes

O 0-3 cm. Horizonte orgánico

A 3-30 cm. Color del suelo en húmedo 10 YR 4/3; textura del suelo franco arcillo limoso; consistencia en húmedo friable a firme, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado moderado, tipo bloque angular y granular, tamaño fino; Poros: abundancia 51-200 dm², tamaño < 0.075-2 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; raíces abundantes > 200 dm², tamaño < 1-2 mm.

CA 30-45 cm. Color del suelo en húmedo 2,5 Y 4/4; textura del suelo franco arcillo limoso; consistencia en húmedo firme, en mojado adherente, plasticidad plástico; estructura: grado débil a moderado, tipo bloque subangular y masivo, tamaño medio; poros: abundancia 1-50 dm², tamaño; < 0.075mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, discontinuos, orientación vertical; raíces: abundancia 20-50 dm², tamaño < 1 mm

C > 45 cm. Color del suelo en húmedo 2,5 YR 6/3; textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARÁMETROS		A	CA	C
Da (g/cm ³)		0,79	1,29	1,35

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A	CA	C
pH	H ₂ O	5,1	5,3	5,9
	KCl	4,1	4,2	4,4
	ΔpH	1,0	1,1	1,5
C.O (g/kg)		80,5	11,2	3,8
C.I.C	en meq/100 gr arcilla	13,66	11,92	16,74
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	9,49	9,43	14,14
	Mg	1,03	1,16	1,81
	K	0,67	0,25	0,37
	Na	0,16	0,20	0,19
	Al	1,91	0,64	0,17
	Fe	0,20	0,02	0,01
	Mn	0,07	0,16	0,03
N. total (g/kg)		6,0	0,9	0,3
Saturación de bases (%)		85	94	99
Alo (g/kg)		4,90	4,27	4,36
Feo (g/kg)		6,67	11,09	8,63
Sio (g/kg)		0,59	0,59	0,58
Alp (g/kg)		2,72	0,57	0,66
Fep (g/kg)		3,51	0,97	0,40

CALICATA PHA4 Bajo

Descripción

Código: PHA4 Bajo

Ubicación: Sigsihuyco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador,
2013



Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Pasto
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente cóncava, pendiente del 14 %
Otras:	Profundidad radicular 50 cm. Profundidad radicular efectiva 30 cm; fauna del suelo, mucha.

Horizontes

- O 0-3 cm.** Horizonte orgánico
- A 3-30 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 2/3; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado no adherente, plasticidad no plástico; estructura: grado moderado, tipo granular y migajosa, tamaño fino y medio; Poros: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 0.075\text{-}5 \text{ mm}$, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; Raíces: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño 2-5 mm.
- CA 30-44 cm.** Color del suelo en húmedo 2,5 Y 5/3; textura del suelo arcillo limoso; consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente adherente y adherente, plasticidad ligeramente plástico y plástico; estructura: grado débil, tipo bloque angular y granular, tamaño fino y medio; poros: abundancia $1\text{-}50 \text{ dm}^2$, tamaño; 1-2 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, discontinuos, orientación vertical; raíces: abundancia $20\text{-}50 \text{ dm}^2$, tamaño 1-2 mm.
- C $> 44 \text{ cm}$.** Color del suelo en húmedo 2,5 Y 7/3; textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico



PARÁMETROS		A	CA	C
Da (g/cm ³)		0,45	1,14	1,43

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A	CA	C
pH	H ₂ O	5,0	4,9	5,7
	KCl	4,0	3,9	4,2
	ΔpH	1,0	1,0	1,5
C.O (g/kg)		94,3	16,0	3,4
C.I.C	meq/100 gr arcilla	14,73	7,21	8,50
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	10,22	4,72	6,70
	Mg	1,34	0,69	1,04
	K	0,43	0,11	0,14
	Na	0,22	0,14	0,11
	Al	2,23	1,25	0,40
	Fe	0,15	0,02	0,00
	Mn	0,00	0,17	0,04
N. total (g/kg)		6,5	1,1	0,3
Saturación de bases (%)		84	81	95
Alo (g/kg)		7,13	4,18	4,40
Feo (g/kg)		14,70	15,56	13,71
Sio (g/kg)		0,60	0,60	0,61
Alp (g/kg)		4,57	3,08	2,87
Fep (g/kg)		5,17	3,02	1,33

CALICATA BP2 Alto

Descripción

Código: BP2 Alto



Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Bosque de Polylepis
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente convexa, pendiente del 25 %.
Otras:	Profundidad radicular 50 cm. Profundidad radicular efectiva 45 cm; fauna del suelo, mucha.

Horizontes

- O 0-5 cm.** Horizonte orgánico
- A 5-35 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado no adherente, plasticidad no plástico; estructura: grado fuerte, tipo granular y migajosa, tamaño fino; Poros: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 0.075 > 5 \text{ mm}$, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; rocas: abundancia 5 %, tamaño 10 cm, forma irregular, color plomo, grado duro; raíces: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 1 > 5 \text{ mm}$.
- AC 35-55 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 3/2; textura del suelo arcillo limoso; consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado moderado, tipo subangular, tamaño fino y medio; Poros: abundancia 51- 200 dm^2 , tamaño 2-5 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación vertical y horizontal; rocas: abundancia 30 %, tamaño 60-70 cm, forma irregular, color plomo, grado duro; raíces: abundancia 50-200 dm^2 , tamaño 1-2 mm.
- C $> 55 \text{ cm}$.** Color del suelo en húmedo 2,5 Y 5/4; textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARÁMETROS		A	AC	C
Da (g/cm ³)		0,88	1,20	1,21

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A	AC	C
pH	H ₂ O	5,1	4,8	5,3
	KCl	4,1	3,8	3,9
	ΔpH	1,0	1,0	1,4
C.O (g/kg)		70,5	33,5	6,3
C.I.C	meq/100 gr arcilla	9,20	7,42	5,26
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	4,60	1,96	1,18
	Mg	1,06	0,20	0,52
	K	0,40	0,13	0,04
	Na	0,10	0,09	0,09
	Al	2,52	4,76	3,30
	Fe	0,02	0,13	0,02
	Mn	0,36	0,01	0,00
N. total (g/kg)		5,3	2,8	0,5
Saturación de bases (%)		70	33	35
Alo (g/kg)		7,68	8,84	9,98
Feo (g/kg)		7,88	4,74	1,60
Sio (g/kg)		0,86	1,10	1,17
Alp (g/kg)		5,76	1,57	1,98
Fep (g/kg)		3,81	0,74	0,52

CALICATA BP2 Medio

Descripción



Código:	BP2 Medio
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Bosque de Polylepis
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente linear, pendiente del 20 %
Otras:	Profundidad radicular 60 cm. Profundidad radicular efectiva 50 cm; fauna del suelo, mucha.

Horizontes

- O 0-5 cm.** Horizonte orgánico
- A 5-45 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado no adherente, plasticidad no plástico; estructura: grado fuerte, tipo granular y migajosa, tamaño fino; Poros: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 0.075 > 5 \text{ mm}$, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; rocas: abundancia 1 %, tamaño 10 cm, forma irregular, color plomo, grado duro; raíces: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 1 > 5 \text{ mm}$.
- AC 45-60 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 3/2; textura del suelo arcillo limoso; consistencia en húmedo firme y friable, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado moderado, tipo subangular, tamaño fino y medio; Poros: abundancia 51- 200 dm^2 , tamaño $< 0.075-1 \text{ mm}$, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular , continuos y orientación vertical y horizontal; raíces: abundancia 50-200 dm^2 , tamaño 1-5 mm.



C > 60 cm. Color del suelo en húmedo 2,5 Y 6/1; textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARÁMETROS		A	AC	C
Da (g/cm ³)		0,67	1,16	1,38

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A	AC	C
pH	H ₂ O	4,9	5,1	5,4
	KCl	3,8	3,8	3,8
	ΔpH	1,1	1,3	1,6
C.O (g/kg)		97,0	18,1	3,6
C.I.C	meq/100 gr arcilla	12,65	7,35	5,63
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	1,25	1,44	2,19
	Mg	0,34	0,68	0,99
	K	0,15	0,11	0,14
	Na	0,06	0,05	0,07
	Al	10,57	4,91	2,08
	Fe	0,05	0,04	0,02
	Mn	0,02	0,01	0,00
N. total (g/kg)		4,9	0,9	0,2
Saturación de bases (%)		14	31	60
Alo (g/kg)		12,20	6,47	4,66
Feo (g/kg)		3,67	2,26	2,25
Sio (g/kg)		0,81	1,01	1,08
Alp (g/kg)		8,05	2,47	0,66
Fep (g/kg)		2,15	0,89	0,52

CALICATA BP2 Bajo



Descripción

Código:	BP2 bajo
Ubicación:	Sigsihuayco, Yanuncay, Cuenca, Ecuador, 2013
Clasificación:	Andosol
Vegetación:	Bosque de Polylepis
Material parental:	Material volcánico
Topografía:	Pendiente cóncava, pendiente del 23 %
Otras:	Profundidad radicular 90 cm. Profundidad radicular efectiva 80 cm; fauna del suelo, mucha.

Horizontes

B.□. 0-7 cm. Horizonte orgánico

- A1 7-55 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 1,7/1; textura del suelo franco limoso; consistencia en húmedo suelto y friable, en mojado no adherente, plasticidad no plástico; estructura: grado fuerte, tipo granular y migajosa, tamaño fino; Poros: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 1 > 5 \text{ mm}$, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; raíces: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 1 > 5 \text{ mm}$.
- A2 55-80 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 2/2; textura del suelo franco arcillo limoso; consistencia en húmedo friable, en mojado ligeramente adherente, plasticidad ligeramente plástico; estructura: grado moderado, tipo subangular y granular, tamaño fino y medio; Poros: abundancia 51- 200 dm^2 , tamaño $< 0.075-2 \text{ mm}$, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, continuos y orientación al azar; raíces: abundancia $> 200 \text{ dm}^2$, tamaño $< 1-2 \text{ mm}$.

- CA 80-100 cm.** Color del suelo en húmedo 10 YR 5/3; textura del suelo arcillo limoso; consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente adherente, plasticidad plástico; estructura: grado moderado, tipo bloque subangular, tamaño fino y medio; poros: abundancia 1-50 dm², tamaño; < 0.075 mm, distribución inped y exped, tipos vesicular y tubular, discontinuos, orientación al azar; raíces: abundancia > 200 dm², tamaño 2-5 mm
- C > 100 cm.** Color del suelo en húmedo 2,5 Y 8/3; textura del suelo, masivo.

B. Análisis físicos y químicos

B.1. Análisis físico

PARÁMETROS		A1	A2	CA	C
Da (g/cm ³)		0,57	0,88	1,33	0,84

B.2. Análisis químico

PARÁMETROS		A1	A2	CA	C
pH	H ₂ O	5,0	4,8	5,0	5,4
	KCl	3,7	3,8	3,8	3,9
	ΔpH	1,3	1,0	1,2	1,5
C.O (g/kg)		150,4	37,1	7,2	3,6
C.I.C	meq/100 gr arcilla	6,35	8,98	5,37	6,49
Cationes (meq/100 gr suelo)	Ca	1,08	1,36	1,30	4,16
	Mg	0,36	0,54	0,62	0,92
	K	0,24	0,13	0,16	0,22
	Na	0,03	0,06	0,05	0,05
	Al	4,37	6,65	3,06	1,04
	Fe	0,02	0,08	0,04	0,01
	Mn	0,00	0,00	0,00	0,00
N. total (g/kg)		8,6	1,7	0,5	0,2
Saturación de bases (%)		27	23	40	83
Al _o (g/kg)		11,51	6,87	4,50	3,57
Fe _o (g/kg)		5,26	2,79	1,90	1,08
Sio (g/kg)		0,93	0,53	0,74	0,60



12.4. Determinación de los tipos de cobertura

Materiales

- Cartografía base de las zonas de estudio
- Guías de campo: Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data, (Holdridge, 1947). Cien Plantas Silvestres del Páramo, Parque Nacional Cajas, Azuay, Ecuador.

Equipos

- Flexómetro
- Cámara fotográfica
- lupa
- Clinómetro.
- GPS.

Metodología para la caracterización de los tipos de cobertura vegetal

La caracterización de la cobertura vegetal se la realizó estableciendo perímetros cuadrículares de 5 x 5 m un total de 18 perímetros, en los cuales se procedió a identificar las especies vegetales que cubren el suelo usando las guías de campo (bosque de *Polylepis* (PB) páramo de pajonal (PJ) y páramo herbáceo de almohadillas (PHA). Una vez identificadas se procedió a agruparlas en los distintos tipos de coberturas, usando la guía de 100 plantas silvestres del páramo del Parque Nacional Cajas.

12.5. Descripción del análisis estadístico

Análisis estadísticos

En este estudio el análisis estadístico se realizó utilizando el programa Statistica 7, el cual nos permitió realizar los siguientes

análisis: correlación, diagramas de caja (Boxplot) y análisis de varianza (ANOVA).

Análisis de correlación

Este tipo de análisis permite determinar la dependencia o relación entre dos variables. Es decir, si las variaciones en una de las variables afectan en las variaciones de la otra. En caso de que exista se dirá que las variables están correlacionadas entre ellas.

Para medir el grado de relación entre dos variables se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. El coeficiente de correlación se expresa con la letra r y varía en el intervalo de -1 a 1 .

$$-1 \leq r \leq 1$$

Si el coeficiente de correlación lineal se aproxima a 1 , la correlación es directa y fuerte, mientras que si la correlación se aproxima a -1 , la correlación es fuerte pero inversa. Cuando los valores de r se aproximan a 0 , entonces la correlación es débil. Los resultados del análisis de correlación se muestran en la tabla 1.

Diagramas de caja (Boxplot)

Para los diagramas de caja o boxplot se procedió en primer lugar a dividir la base de datos en tres grupos diferentes con diferente cobertura vegetal. Los grupos comprenden sitios alterados cubiertos con páramo de pajonal (Pj) y páramo herbáceo con almohadillas (Pha) y sitios inalterados compuesto por bosques de *Polylepis* (Bp). **Ver figura 10.**



Figura 19. Grupos de estudio



Fuente: Asanza y Barahona, 2014

Con el objetivo de mostrar la distribución y dispersión de los datos entre los grupos y para comparar la distribución de los datos entre los grupos se realizó diagramas de caja, que en esencia son gráficos exploratorios. Este tipo de gráfico proporciona información sobre los valores mínimo y máximo los cuartiles Q1, Q2 (mediana) y Q3, la presencia de valores atípicos (outliers) y la simetría de la distribución de los datos. En este estudio se utilizó los diagramas de caja para comparar las medianas entre los tres grupos, si las medianas no están alineadas dentro de los rectángulos entre los cuartiles Q1 y Q3 (50% de los datos) entonces se puede asumir que los grupos son diferentes, caso contrario se podría decir que los grupos son similares.

Análisis de variancia (ANOVA)

El análisis de variancia está diseñado para analizar la variación entre muestras o grupos y la variación al interior de las mismas. En otras palabras el ANOVA permite comparar dos o más medias poblacionales.

Este método estadístico asume las siguientes condiciones:

1. Las variancias de la población son similares entre ellas y tienen un valor constante.
2. Todas las poblaciones analizadas muestran una distribución normal.
3. Las muestras son independientes y aleatorias, provienen de su respectiva población.

Estas condiciones representan a la hipótesis nula, por ejemplo asume que todas las medias son iguales y contrasta con al menos uno que no lo es, de esta manera puede encontrar si las diferencias son significativas.



12.6. Equipos y procedimiento para análisis físico del suelo

Materiales

- Cinta para medir
- Cuchillo de suelos
- Tabla de colores de Munsell.
- Formulario para registro de datos.
- Fundas plásticas para muestras.
- Adhesivos para identificar muestras y horizontes
- Cámara fotográfica
- Anillos Kopecky.
- Toma muestras Kopecky.
- Caja para transportar los anillos.
- Martillo de goma.

Equipos

- Tamiz de 2 mm
- Mortero
- Balanza electrónica
- Estufa

Análisis físico del suelo

Los análisis físicos de los suelos fueron realizados en el laboratorio de Ciencias del Suelo de Ecosistemas Tropicales y Subtropicales de la Universidad de Gottingen y en el laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca.

Densidad aparente del suelo (U. Cuenca)

Materiales

- Ligas
- Papel filtro

Equipos

- Estufa
- Balanza electrónica
- Calculadora

Metodología para la obtención de la densidad aparente (D.A)

Luego de obtener las muestras en el campo, en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca; se pesó cada Kopecky, liga y papel filtro luego se dejó saturar con agua por 24 horas, después de ese tiempo transcurrido se pesó el suelo saturado; posteriormente se las colocó en la estufa a una temperatura de 105°C por 24 horas. Se volvió a pesar los Kopeckys con el suelo seco y por último se pesó cada anillo de Kopecky, **Ver figura 9**. Para obtener la densidad aparente se aplicó la siguiente fórmula: Calculando la diferencia entre el peso saturado y peso de la muestra seco, para el peso anillo Kopecky.

$$DA = \frac{(\text{Peso seco de la muestra} + \text{anillo}) - (\text{peso del anillo})}{\text{Volumen del anillo}}$$



Figura 20. Obtención de la densidad aparente (D.A)



Fuente: Asanza y Barahona, 2014

12.7. Análisis químico del suelo (Universidad de Gottingen).

Análisis del suelo (Universidad de Gottingen).

- C orgánico.
- N orgánico.
- PH (H_2O y KCl).
- CEC (Capacidad de intercambio catiónico).
- La saturación con bases.
- Análisis de tamaño de partículas.
- Oxalato extraíble
 - Al (Alo) Aluminio extraído por oxalato.
 - Si (Sio) Silicio extraído por oxalato.
 - Fe (Feo) Hierro extraído por oxalato.
- Pirofosfato extraíble
 - Al (Alp) Aluminio extraído por pirofosfato.
 - Fe (Fep) Hierro extraído por pirofosfato.

Los análisis químicos de los suelos se realizaron en el Laboratorio de Ciencias del Suelo de Ecosistemas Tropicales y Subtropicales de la Universidad de Gottingen en Alemania.

- ✓ **Carbón (C) y Nitrógeno (N) orgánico:** las muestras fueron secadas al aire utilizando un analizador elemental CNS (Elementar Vario EL, Hanau, Germany).
- ✓ **pH (H_2O y KCL):** el pH del suelo se midió con una mezcla de pasta saturada (1:1 proporción de suelo/ H_2O).
- ✓ **CIC (capacidad de intercambio catiónico):** las muestras se determinó del suelo percolado con 1 mol/L NH_4CL , y esta solución se analizó para el intercambio catiónico utilizando a ICP-EAS (análisis de espectrómetro de emisión atómica).



- ✓ **Base de saturación:** se estimó como el porcentaje de la base de cationes del CIC.
- ✓ **Al y Fe amorfo, y Si:** la determinación del Al y Fe por la utilización de la extracción del ácido Oxalato. Mientras que el Si, Al y Fe por la extracción del ácido Pirofosfato. Estos extractos fueron analizados con ICP-AES (análisis de espectrómetro de emisión atómica).

Al y Fe determinación por oxalato de extracción

Equipos y accesorios analíticos

9. Botellas de 100 ml.
10. Centrifugar vessel 50 ml.
11. Viales de centelleo
12. Disolvente

Reactivos: Medir con agua destilada des ionizada.

Solución 1: Se pesó 16,2 g de oxalato de amonio $(\text{COONH}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y 10,8 g de ácido oxálico $(\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en un litro de agua des ionizada destilada. El pH de la solución debe ser de 3 de lo contrario es necesario ajustar el pH a 3 con cualquiera de los productos químicos.

Solución 2: se disolvió Superfloc 100 mg en 50 ml de H_2O bidestilada. Se agito durante la noche en la oscuridad. Posteriormente se procedió a envolver en papel de aluminio (Solución se puede conservar durante 1 semana en ambiente oscuro).

Procedimiento:

- Se pesó 1 g de suelo en botellas de polietileno de 100 ml. Cada muestra ocupo un espacio en blanco.
- Se añadió 50 ml de la solución 1 y se cerró la botella.
- Durante la noche se sometió la solución a agitación (150 revoluciones por minuto) en un ambiente oscuro.



- Fuera de la solución sobrenadante en por lo menos 25 ml a unos 50 recipientes de centrifugación, comprobar las diferencias de peso de los tubos con las tapas con la escala.
- Se añadió 3 gotas de solución Superfloc (2), agitar bien (si es posible en un torbellino/de la mano) y se centrifuga.
- Se Centrifugo durante 20 minutos a 4700 rpm/minuto, hasta que el sobrenadante este claro.
- Se transfirió el sobrenadante claro en viales de centelleo.
- En la suspensión, Fe, Al y Si pueden ser medidos por ICP.

Las muestras para el Al y Si se hizo por medición dilución 1:30 con H₂O y la acidificación HNO₃ destilada doble con 100 ul. Diluir 1:10 con H₂O destilada doble y medida sin ácido. S7 y 100 ml de la PIC comenzar matriz de sal con la misma dilución.

Al y Fe determinación por extracción fosfato (Universidad de Gottingen).

Equipos y materiales analíticos necesarios.

- Agitador (Shaker)
- Botellas ml (32 unidades).
- Centrifugar recipiente 50 ml (32 unidades).
- Centrifugar.
- botellas de 50 ml (32 unidades).
- Disolvente.
- Filtro de papel (0.41 µm).

Reactivos:

Solución 1: Pirofosfato de sodio 0,1M (Na₄P₂O₇·10H₂O)(44,6 g) en o agua destilada y diluido a 1 litro.

Volumen necesario. 3,2 litros=3,5 litros.



Solución 2: Se pesó 100 mg Superfloc en 50 ml de agua destilada doble. Se sacudió o revolvió la solución (solución al 0,2 %) en un ambiente oscuro durante la noche. (La solución se puede conservar durante 1 semana en ambiente oscuro).
Volumen requerido: 100 ml.

Procedimiento:

- Se pesó 1 g de suelo en botellas de polietileno.
- Se añadió 100 ml de solución 1.
- Por cada 16 muestras se debe tener una muestra de control (muestra en blanco sin solución).
- Aproximadamente 16 horas durante la noche se somete a la solución a un proceso de agitación utilizando un agitador eléctrico.
- 50 ml de la solución agitada se coloca en embases de polietileno de 50 ml.
- Luego se añadió 10 gotas Superfloc.
- Se dejó reposar durante 1 hora.
- Se Centrifugó durante 45 minutos a 4700 rev/minutos hasta que el sobrenadante es claro.
- Si es necesario, las muestras de la solución se filtra utilizando papel de filtro de 0,45 μm .
- Las soluciones filtradas fueron medidas por un ICP - AES (Espectrómetro de Emisión Atómica con Plasma Acoplado Inductivamente).
- S7 inicio y ICP en la sal de la matriz, acidificar.
- Las muestras medidas fueron almacenados en un lugar fresco.
- La suspensión también se puede medir en Shimadzu C, pero Superfloc no se debe añadir. La preparación de la muestra es de otra manera el mismo que para la medición y Al-Fe.

